

团 体 标 准

T/CEEIA XXXX-XXXX

抽水蓄能机组启动隔离开关和拖动隔离开关技术条件

Specification for started and starting disconnectors of pumped storage unit

(征求意见稿)

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中国电器工业协会 发布

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 |
| 4 使用条件 | 1 |
| 5 额定值 | 1 |
| 5.1 概述 | 1 |
| 5.2 额定电压 (U_r) | 2 |
| 5.3 额定绝缘水平 (U_d 和 U_p) | 2 |
| 5.4 额定频率 | 3 |
| 5.5 额定连续电流 | 3 |
| 5.6 额定短时耐受电流 | 3 |
| 5.7 额定峰值耐受电流 | 3 |
| 5.8 额定短路持续时间 | 3 |
| 5.9 辅助和控制回路的额定供电电压 | 3 |
| 5.10 机械操作次数 | 3 |
| 5.11 额定容性开合电流 | 3 |
| 6 设计与结构 | 3 |
| 6.1 布置型式与接口 | 3 |
| 6.2 辅助和控制设备及回路 | 4 |
| 6.3 动力操作 | 4 |
| 6.4 人力操作的驱动器 | 4 |
| 6.5 铭牌 | 4 |
| 6.6 联锁装置 | 4 |
| 6.7 位置指示 | 4 |
| 6.8 防护等级 | 5 |
| 6.9 绝缘子的爬电距离 | 5 |
| 6.10 火灾(易燃性) | 5 |
| 6.11 电磁兼容性(EMC) | 5 |
| 6.12 标识 | 5 |
| 6.13 腐蚀 | 5 |
| 6.14 外壳的防护等级与密封 | 5 |
| 6.15 控制设备 | 5 |
| 6.16 对启动隔离开关和拖动隔离开关断口的要求 | 5 |
| 7 试验 | 5 |
| 7.1 一般要求 | 5 |
| 7.2 型式试验和出厂试验相关要求 | 6 |
| 7.3 型式试验 | 6 |
| 7.4 出厂试验 | 7 |
| 7.5 现场试验 | 7 |
| 8 标志、包装、运输、储存、安装 | 8 |

T/CEEIA XXXX-XXXX

| | |
|----------------------------------|----|
| 8.1 标志 | 8 |
| 8.2 包装 | 8 |
| 8.3 运输 | 8 |
| 8.4 储存 | 8 |
| 8.5 安装 | 8 |
| 9 安全 | 8 |
| 10 产品对环境的影响 | 8 |
| 附录 A (资料性) 启动隔离开关和拖动隔离开关说明 | 9 |
| A.1 启动隔离开关和拖动隔离开关说明 | 9 |
| A.2 启动隔离开关和拖动隔离开关应用工况说明 | 9 |
| A.3 容性电流计算 | 10 |
| | |
| 表 1 启动隔离开关和拖动隔离开关的额定绝缘水平 | 2 |
| 表 2 铭牌信息 | 4 |
| 表 3 试验项目 | 5 |
| | |
| 图 A.1 SFC 启动回路 | 9 |
| 图 A.2 BTB 启动回路 | 10 |
| 图 A.3 同轴导体 | 11 |

前 言

本文件参照 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》及 T/CEEIA 270—2017《CEEIA 标准编写指南》给出的规定起草。

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。

本文件由中国电器工业协会标准化工作委员会提出。

本文件由中国电器工业协会高压开关设备标准化专业委员会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件于 2023 年首次制定。

抽水蓄能机组启动隔离开关和拖动隔离开关技术条件

1 范围

本文件规定了额定电压 3.6kV~38kV，抽水蓄能机组启动隔离开关和拖动隔离开关的使用条件、额定值、设计与结构、试验等要求。

本文件适用于额定电压为 3.6kV~38kV、户内安装的抽水蓄能机组用启动隔离开关和拖动隔离开关。
注：启动隔离开关和拖动隔离开关的说明见附录A。

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 191-2008 包装储运图标标志
- GB/T 311.1-2012 绝缘配合 第1部分：定义、原则和规则
- GB/T 1985-2014 高压交流隔离开关和接地开关
- GB/T 7354-2018 高电压试验技术 局部放电测量
- GB/T 8349-2000 金属封闭母线
- GB/T 11022-2020 高压交流开关设备和控制设备标准的共用技术要求
- GB/T 13540-2009 高压开关设备和控制设备的抗震要求
- GB/T 14598.27-2017 量度继电器和保护装置. 第27部分:产品安全要求
- GB/T 26218.1-2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第1部分：定义、信息和一般原则
- GB/T 2900.20-2016 电工术语 高压开关设备和控制设备
- GB/T 33981-2017 高压交流断路器声压级测量的标准规程

3 术语和定义

GB/T 11022-2020、GB/T 1985-2014、GB/T 2900.20-2016 界定的术语和定义适用于本文件。

4 使用条件

抽水蓄能机组用启动隔离开关和拖动隔离开关在下列使用条件下使用。

- a) 安装条件：户内；
- b) 海拔：不超过 1000m，海拔超过 1000m 时，根据 GB/T 311.1-2012 的附录 B 进行修正；
- c) 环境温度：-5℃~40℃。
- d) 环境湿度：
 - 1) 在 24h 内测得的相对湿度的平均值不超过 95%；
 - 2) 月相对湿度平均值不超过 90%。
- e) 抗震条件 AG3，对于抗震水平有特殊要求，应符合 GB/T 13540-2009 相关规定；
- f) 其他环境条件：周围空气没有明显地受到尘埃、烟、腐蚀性和/或可燃性气体、蒸气或盐雾的污染，且认为不低于 GB/T 26218.1-2010 中现场污秽严酷度（SPS）等级中的“b”。

5 额定值

5.1 概述

启动隔离开关和拖动隔离开关的通用额定值应从下列各项中选取（适用时）：

- a) 额定电压；
- b) 额定绝缘水平；
- c) 额定频率；
- d) 额定连续电流；
- e) 额定短时耐受电流；
- f) 额定峰值耐受电流；
- g) 额定短路持续时间；
- h) 辅助和控制回路的额定供电电压；
- i) 机械操作次数；
- j) 额定容性开合电流。

5.2 额定电压 (U_r)

额定电压的标准值为 3.6kV, 7.2kV, 12kV, 15kV, 18kV, 21kV, 24kV, 27kV, 30kV, 33kV, 38kV。

5.3 额定绝缘水平 (U_d 和 U_p)

启动隔离开关和拖动隔离开关的额定绝缘水平应从表 1 给定的数值中选取。

表 1 给定的耐受电压涵盖了在第 4 章规定的使用条件下包括海拔从海平面到 1 000 m 时启动隔离开关和拖动隔离开关的应用。但是，为了试验验证额定值或能力，认为它们是 GB/T 311.1—2012 中规定的标准参考大气温度（20 °C）、压力（101.3 kPa）和绝对湿度（11 g/m³）下的绝缘水平。

注：根据 GB/T 311.1—2012，表 1 中绝缘水平涵盖的温度范围为 -40°C 到 40°C。

额定短时工频耐受电压 (U_d) 和额定雷电冲击耐受电压 (U_p) 应在表 1 中的水平标志线的同一行中选取。

若在本标准中无其他规定，表 1 中的通用值适用于极对地。

表 1 启动隔离开关和拖动隔离开关的额定绝缘水平

| 额定电压 U_r kV (有效值) | 额定短时工频耐受电压 U_d kV (有效值) | | 额定雷电冲击耐受电压 U_p kV (峰值) | |
|---------------------------|---------------------------------|------|--------------------------------|------|
| | 通用值 | 隔离断口 | 通用值 | 隔离断口 |
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
| 3.6 | 25 | 27 | 40 | 46 |
| 7.2 | 30 | 34 | 60 | 70 |
| 12 | 42 | 48 | 75 | 85 |
| 15 | 50 | 55 | 88 | 100 |
| 18 | 55 | 65 | 105 | 115 |
| 21 | 60 | 70 | 115 | 130 |
| 24 | 65 | 79 | 125 | 145 |
| 27 | 70 | 85 | 135 | 155 |
| 30 | 77 | 95 | 150 | 170 |

表 1(续)

| 额定电压 U_r kV (有效值) | 额定短时工频耐受电压 U_d kV (有效值) | | 额定雷电冲击耐受电压 U_p kV (峰值) | |
|---------------------------|---------------------------------|------|--------------------------------|------|
| | 通用值 | 隔离断口 | 通用值 | 隔离断口 |
| 33 | 85 | 100 | 160 | 185 |
| 38 | 90 | 115 | 176 | 200 |

注1：型式试验采用上表的栏（2）、（3）、（4）、（5）的数值。
注2：出厂试验的极对地及开关断口间采用上表的栏（2）通用值。
注3：现场试验的极对地及开关断口间采用上表的栏（2）通用值的80%。

5.4 额定频率

额定频率 50Hz。

5.5 额定连续电流

GB/T 11022-2020 的 5.5 适用。

5.6 额定短时耐受电流

GB/T 11022-2020 的 5.6 适用。

5.7 额定峰值耐受电流

GB/T 11022-2020 的 5.7 适用，并作如下补充：
额定峰值耐受电流不应小于额定短时耐受电流的 2.74 倍。

5.8 额定短路持续时间

GB/T 11022-2020 的 5.8 适用，并作如下补充：
额定短时耐受电流的额定持续时间为 3s。

5.9 辅助和控制回路的额定供电电压

GB/T 11022-2020 的 5.9 适用。

5.10 机械操作次数

GB/T 1985-2014 的 4.106 适用，并作如下补充：
启动隔离开关和拖动隔离开关机械寿命不应小于 10000 次。

5.11 额定容性开合电流

启动隔离开关应具备开合启动母线空载容性电流的能力，额定容性开合电流不应小于启动母线最大空载容性电流。

启动母线最大空载容性电流优选值为：50mA、100mA、150mA，容性电流参数计算方法见附录 A。
注：制造商和用户可协商选择任何其他值。

6 设计与结构

6.1 布置型式与接口

启动隔离开关和拖动隔离开关布置型式与接口的要求如下：

- a) 启动隔离开关和拖动隔离开关宜采用三相分箱结构，布置型式可采用分体式或集成式；
 - 1) 分体式布置时，每相开关设置独立的封闭箱体，三相整体可满足垂直或水平布置要求；

- 2) 集成式布置时，启动隔离开关和/或拖动隔离开关集成于发电电动机断路器箱体内，并与发电电动机断路器共用单相箱体。
- b) 启动隔离开关和拖动隔离开关的箱体开孔尺寸及接口应符合与启动母线外壳焊接或可拆卸连接要求；
- c) 接地：GB/T 11022-2020 的 6.3 适用，并作如下补充：
 - 1) 与封闭母线相连的启动隔离开关和拖动隔离开关壳体的接地点和封闭母线共用；
 - 2) 启动隔离开关和拖动隔离开关的底架和控制设备外壳及其它不属于主回路和辅助回路的金属部件应相互连接后可靠接地，外壳应设置至少两个接地点。

6.2 辅助和控制设备及回路

GB/T 11022-2020 的 6.4 适用。

6.3 动力操作

GB/T 11022-2020 的 6.5 适用，并作如下补充：

启动隔离开关和拖动隔离开关宜采用电动机操动机构，传动方式宜为三相机械联动。

6.4 人力操作的驱动器

GB/T 11022-2020 的 6.8 适用。

6.5 铭牌

GB/T 11022-2020 的 6.11 适用，并作如下补充：

启动隔离开关和拖动隔离开关的铭牌中还应包含额定容性开断电流值，具体信息见表 2。

表 2 铭牌信息

| 项目 | 单位 | 参数值 | 操动机构 |
|----------------|------|-----|------|
| 型号或出厂编号 | | | |
| 额定电压 | kV | | |
| 额定短时工频耐受电压 | kV | | |
| 额定雷电冲击耐受电压 | kV | | |
| 额定频率 | Hz | | |
| 工作频率 | Hz | | |
| 额定连续电流 | A | | |
| 额定短时耐受电流/持续时间 | kA/s | | |
| 额定峰值耐受电流 | kA | | |
| 额定控制电压 (AC/DC) | V | | |
| 额定操作电压 (AC/DC) | V | | |
| 额定容性开断电流 | mA | | |
| 设备总重量 | kg | | |
| 制造年份 | | | |
| 制造厂名称 | | | |
| 标有发布日期的相关标准 | | | |

6.6 联锁装置

GB/T 11022-2020 的 6.12 适用，并作如下补充：

- a) 启动隔离开关和拖动隔离开关应具备与发电电动机断路器、换相开关、电气制动开关等设备实现电气联锁的条件；
- b) 启动隔离开关和拖动隔离开关应设置阻止操动机构或传动链动作的机械锁。

6.7 位置指示

GB/T 11022-2020 的 6.13 适用，并作如下补充：

启动隔离开关和拖动隔离开关箱体上应设置可查看触头位置状态的观察窗；观察窗应便于运维人员日常巡检使用。

6.8 防护等级

GB/T 11022-2020 的 6.14 适用。

6.9 绝缘子的爬电距离

GB/T 11022-2020 的 6.15 适用。

6.10 火灾(易燃性)

GB/T 11022-2020 的 6.18 适用。

6.11 电磁兼容性(EMC)

GB/T 11022-2020 的 6.19 适用。

6.12 标识

启动隔离开关和拖动隔离开关标识应正确，完整、规范，对于专用工装、操作旋钮、计数器等标识应清晰、可见、准确，便于运维人员巡视和检修使用。

6.13 腐蚀

GB/T 11022-2020 的 6.21 适用。

6.14 外壳的防护等级与密封

启动隔离开关和拖动隔离开关外壳防护等级和密封性能应符合 GB/T 8349-2000 的相关要求。

6.15 控制设备

启动隔离开关和拖动隔离开关控制设备的要求为：

- a) 布置方式：宜与抽水蓄能电站用发电电动机断路器及其它开关设备共用控制柜；
- b) 控制方式：应具有现地和远方控制方式，具备现地和远方分闸和合闸操作功能。

6.16 对启动隔离开关和拖动隔离开关断口的要求

GB/T 1985-2014 的 5.102 适用。

7 试验

7.1 一般要求

启动隔离开关和拖动隔离开关试验，主要包括型式试验、出厂试验、现场试验，试验项目应符合表 3 要求。

表 3 试验项目

| 序号 | 试验项目 | 型式试验 | 出厂试验 | 现场试验 | 备注 |
|----|-------------|------|------|------|----|
| 1 | 绝缘试验 | √ | | | |
| 2 | 回路电阻测量 | √ | | | |
| 3 | 连续电流试验 | √ | | | |
| 4 | 短时及峰值耐受电流试验 | √ | | | |
| 5 | 机械操作试验 | √ | √ | √ | |
| 6 | 容性电流开断试验 | √ | | | |
| 7 | 噪音水平试验 | √ | | | |
| 8 | 防护等级试验 | √ | | | |
| 9 | 抗震性能验证 | √ | | | |

表 3(续)

| 序号 | 试验项目 | 型式试验 | 出厂试验 | 现场试验 | 备注 |
|----|----------------|------|------|------|----|
| 10 | 电磁兼容性试验 (EMC) | √ | | | |
| 11 | 主回路的绝缘试验 | | √ | √ | |
| 12 | 辅助和控制回路试验 | | √ | √ | |
| 13 | 辅助和控制回路试验的附加试验 | √ | | | |
| 14 | 主回路电阻测量 | | √ | √ | |
| 15 | 设计和外观检查 | | √ | √ | |

7.2 型式试验和出厂试验相关要求

型式试验和出厂试验项目相关的试验内容、方法、程序等要求应符合 GB/T 11022 的相关规定。

7.3 型式试验

7.3.1 绝缘试验

GB/T 11022-2020 的 7.2 适用，并作如下补充：

- 工频耐受电压试验和雷电冲击耐受电压试验应符合表 1 的要求；
- 启动隔离开关和拖动隔离开关可进行局部放电试验，试验应符合 GB/T 7354-2018 的规定。

7.3.2 回路电阻测量

GB/T 11022-2020 的 7.4 适用，并作如下补充：

主回路电阻测量时，试验电流不应小于直流 200A。

7.3.3 连续电流试验

GB/T 11022-2020 的 7.5 适用，并作如下补充：

三相共箱式结构试验应在装配完整的样机上进行；三相分箱式结构可选择散热条件最不利的相进行单相试验。

7.3.4 短时耐受电流及峰值耐受电流试验

GB/T 11022-2020 的 7.6 适用，并作如下补充：

峰值耐受试验电流按额定短时耐受电流的 2.74 倍进行试验。

7.3.5 机械操作试验

7.3.5.1 机械寿命试验

GB/T 1985-2014 的 6.102.4 适用。

7.3.5.2 机械操作试验

试验应分别在额定电源电压、最低电源电压、最高电源电压等三种状态下进行单独的合闸和分闸操作，试验时应测量并记录合闸时间、分闸时间等特性参数。

7.3.5.3 低温试验

GB/T 1985-2014 的 6.104 适用。

7.3.6 容性电流开断试验

启动隔离开关进行容性电流开断试验，试验方法、试验程序、开断次数见 GB/T 1985-2014 的附录 F.6 中隔离开关开合母线充电电流试验方式 3（电流开合能力）的相关要求，并作如下补充：

- 仅进行额定容性电流的开断试验；
- 试验电压为额定相电压。

7.3.7 噪音水平试验

噪音水平试验应在三相空载条件下进行，试验程序应符合 GB/T 33981-2017 的规定，试验应在离地高 1m~1.5m、距声源设备外沿垂直面的水平距离 2m 处测量，噪音水平≤90dB。

7.3.8 防护等级试验

GB/T 11022-2020 的 7.7 适用。

7.3.9 抗震性能验证

抗震性能应符合 GB/T 13540-2009 的要求，特殊需求时由用户与制造厂协商解决。

对于启动隔离开关和拖动隔离开关的抗震性能验证也可由有资质的机构进行抗震能力分析并出具报告替代。

7.3.10 电磁兼容性试验（EMC）

GB/T 11022-2020 的 7.9 适用。

7.3.11 辅助和控制回路试验的附加试验

GB/T 11022-2020 的 7.10 适用。

7.4 出厂试验

7.4.1 主回路的绝缘试验

GB/T 11022-2020 的 8.2 适用，并作如下补充：

设备工厂装配调试完成后，进行 1min 工频耐受电压试验，试验电压应选取表 1 栏（2）要求值。

7.4.2 机械操作试验

GB/T 1985-2014 的 7.101 适用，并作如下补充：

试验应分别在额定电源电压、最低电源电压、最高电源电压等三种状态下进行单独的合闸和分闸操作，每个状态下进行 3 次合闸、分闸操作。

7.4.3 辅助和控制回路的试验

GB/T 11022-2020 的 8.3 适用。

7.4.4 主回路电阻测量

GB/T 11022-2020 的 8.4 适用，并作如下补充：

测量时试验电流不应小于直流 200A。

7.4.5 设计和外观检查

GB/T 11022-2020 的 8.6 适用。

7.5 现场试验

7.5.1 主回路的绝缘试验

现场安装调试完成后，进行 1min 工频耐压试验，试验电压见本文件表 1 栏（2）要求值的 80%。试验程序和方法应符合 GB/T 11022-2020 中 8.2 的相关规定。

7.5.2 主回路电阻测量

试验电流不应小于直流 200A，测量值不应大于出厂值的 120%。试验程序和方法应符合 GB/T 11022-2020 中 8.4 的相关规定。

7.5.3 机械操作试验

设备现场安装完成后，应按照 7.3.5.2 在额定电源电压状态下进行合闸和分闸操作，试验时应测量并记录合闸时间、分闸时间等特性参数，其性能应符合产品技术要求。

7.5.4 辅助和控制回路试验

依据产品二次控制图样，验证产品就地和远方操作、电气联锁、报警信号等功能。

7.5.5 外观检查

外观检查要求如下：

- a) 外观完好，无锈蚀、无划伤或磕碰；
- b) 控制柜上各种指示信号、控制开关位置正确；
- c) 各类柜门开合正常、关闭良好；
- d) 所有接地连接良好、可靠；
- e) 各类标识完整清晰。

8 标志、包装、运输、储存、安装

8.1 标志

应在设备显著部位设置持久明晰的标志和铭牌，内容包括但不限于：

- a) 制造厂全称及商标；
- b) 型号、名称；
- c) 制造年、月和出厂编号；
- d) 设备的主要参数。

标志和标识应符合 GB/T 191-2008 和 GB/T 14598.27-2017 的规定。

8.2 包装

设备应整体进行包装，箱体上的可动部件（如拉杆）应固定，箱门应上锁。备品备件、工装、仪表等应分类分组包装，并附相关说明。

8.3 运输

设备宜整体运输，并应能保证各组成元件在运输过程中不致遭到破坏、变形、丢失及受潮。每个运输单元应安装冲击记录仪。运输过程中，不允许倒置、倾翻和碰撞。

8.4 储存

设备应存放在室内通风、干燥的地方，存放期间应避免存放物品受到粉尘、烟雾、腐蚀性或可燃性气体、蒸汽、盐渍等污染。

8.5 安装

设备在现场安装后，应根据项 7.5 现场试验项目进行设备的试验验收，试验结果应记录在试验报告中，为设备安全可靠运行提供保障。

9 安全

GB/T 11022-2020 的第 12 章适用。

10 产品对环境的影响

GB/T 11022-2020 的第 13 章适用。

附 录 A
(资料性)
启动隔离开关和拖动隔离开关说明

A.1 启动隔离开关和拖动隔离开关说明

启动隔离开关是机组在抽水调相及水泵工况启动被拖动机启动回路专设的隔离开关。
拖动隔离开关是机组在抽水调相及水泵工况启动拖动机启动回路专设的隔离开关。

A.2 启动隔离开关和拖动隔离开关应用工况说明

A.2.1 抽水蓄能电站发电电动机泵工况的启动方式

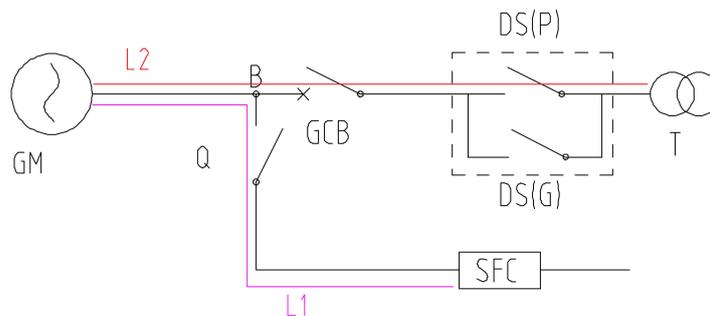
抽水蓄能电站在发电电动机泵工况启动过程中，需投入启动隔离开关和拖动隔离开关。发电电动机泵工况启动方式主要包括 SFC 启动和背靠背(BTB) 启动两种方式：

a) SFC（静止变频装置）启动

SFC 启动是以 SFC 装置为电源，通过启动回路对发电电动机进行抽水方向启动，达到工频状态，系统侧电源投入后，启动回路退出。

SFC 启动过程，如图 A.1 所示，启动回路 L1：SFC-Q-GM；工作回路 L2：T-DS(P)-GCB-GM；SFC 装置为电源，通过启动回路启动机组（GM）作为电动机，SFC 启动包含三个阶段：加速阶段、同期阶段、完成阶段。

- 1) 加速阶段，启动回路 L1 中 Q 合闸，工作回路 L2 中 GCB、DS(G) 分闸，DS(P) 合闸，SFC 拖动 GM 启动从 0Hz 至 50Hz；
- 2) 同期阶段，GM 频率达到 50Hz 后，工作回路 L2 中 GCB 同期合闸，启动回路 L1 中 SFC 同时退出，启动回路 L1 从 B 点到 SFC 装置之间无电流通过；
- 3) 完成阶段，启动回路 L1 中 Q 分闸。



说明：

| | | | | | |
|-----|--------------|-------|--------------------|-------|-------------------|
| T | —— 主变压器； | DS(G) | —— 换相隔离开关（发电工况回路）； | DS(P) | —— 换相隔离开关（泵工况回路）； |
| GCB | —— 发电电动机断路器； | Q | —— 启动隔离开关； | GM | —— 发电电动机组； |
| L1 | —— SFC 启动回路； | L2 | —— 抽水方向工作回路。 | | |

图 A.1 SFC 启动回路

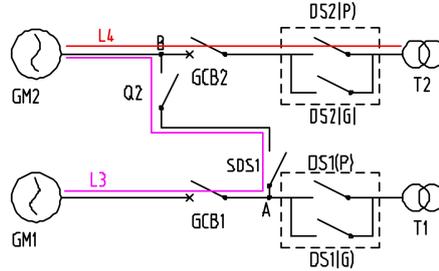
d) 背靠背(BTB) 启动

背靠背(BTB) 启动是一台机组作为电源，通过启动回路对另一台机组进行抽水方向启动，达到工频状态后，系统侧电源投入，启动回路退出。

背靠背启动过程，如图 A.2 所示，启动回路 L3：GM1-GCB1-SDS1-Q2-GM2；工作回路 L4：T2-DS2(P)-GCB2-GM2；机组 GM1 作为电源，通过回路 L3 启动机组 GM2，背靠背启动包含四个阶段：加速阶段、同期阶段、停拖动机阶段、完成阶段。

- 1) 加速阶段，启动回路 L3 中 GCB1、SDS1、Q2 合闸，工作回路 L4 中 GCB2、DS1(P)、DS1(G)、DS2(P) 分闸，DS2(P) 合闸，GM1 作为电源拖动 GM2 从 0Hz 至 50Hz；

- 2) 同期阶段, GM2 频率达到 50Hz 后, 工作回路 L4 中 GCB2 同期合闸, 启动回路 L3 中 GCB1 同时分闸, 启动回路 L3 从 B 点到 GM1 之间无电流通过;
- 3) 拖动机 GM1 停机阶段, 按照停机流程停机;
- 4) 完成阶段, 启动回路 L3 中 Q2 先分闸, SDS1 后分闸。



说明:

| | | | |
|---------------|--------------------|---------------|---------------------|
| T1、T2 | —— 主变压器; | DS1(G)、DS2(G) | —— 换相隔离开关 (发电工况回路); |
| DS1(P)、DS2(P) | —— 换相隔离开关 (泵工况回路); | GCB1、GCB2 | —— 发电机断路器; |
| Q2 | —— 启动隔离开关; | SDS1 | —— 拖动隔离开关; |
| GM1、GM2 | —— 发电电动机组; | L3 | —— 背靠背启动回路; |
| L4 | —— 抽水方向工作回路。 | | |

图 A.2 BTB 启动回路

A.2.2 启动隔离开关的工况说明

在 SFC 启动和背靠背启动的完成阶段, 启动回路母线导体处于高电位且与外壳之间存在电容, 需利用启动隔离开关切断启动回路母线容性负载, 故启动隔离开关应具备容性电流开断能力。

A.2.3 拖动隔离开关的工况说明

背靠背启动回路中, 拖动隔离开关位于启动隔离开关和 GCB 之间, 当启动隔离开关分闸后, 拖动隔离开关两侧均为低电压, 拖动隔离开关进行分闸时, 由于启动回路母线导体与外壳之间电压差接近零, 无电荷释放, 故拖动隔离开关无需开断容性电流。

A.3 容性电流计算

A.3.1 在抽水蓄能电站中

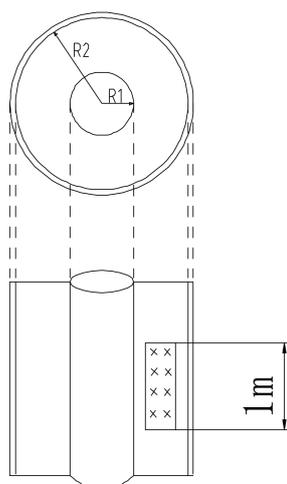
在抽水蓄能电站中, 连接启动隔离开关的封闭母线中心导体和母线外壳之间为同轴导体, 如图 A.3 所示。单位长度电容值 C_0 计算公式见公式 (1), 封闭母线容性电流计算公式见公式 (2)。

$$C_0 = \frac{2\pi\epsilon}{\ln \frac{R2}{R1}} \dots\dots\dots (1)$$

$$I = \frac{U}{\frac{1}{2\pi f C_0 l}} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- | | |
|---------------------|-------------------|
| C_0 —— 单位长度电容值; | I —— 封闭母线容性电流; |
| ϵ —— 介质常数; | U —— 导体和外壳之间电压; |
| $R1$ —— 封闭母线中心导体半径; | f —— 频率; |
| $R2$ —— 外壳半径; | l —— 母线长度。 |



说明:

R1——封闭母线中心导体半径;

R2——外壳半径。

图 A. 3 同轴导体

A. 3. 2 在抽水蓄能电站发电机启动回路中

在抽水蓄能电站发电机启动回路中, 额定电压为 U_r , 则封闭母线的中心导体和外壳之间的电压 (相电压) 为 $U_r / \sqrt{3}$, 依据公式 (1) 和公式 (2), 母线的导体直径和外壳直径确定后, 其容性电流大小和封闭母线的长度及直径有关。其不同长度封闭母线的容性电流大小计算公式为公式 (3)。

$$I = \frac{U_r / \sqrt{3}}{\frac{1}{2\pi f C_0 l}} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

C_0 —— 单位长度电容值;

I —— 封闭母线容性电流;

U_r —— 额定电压;

f —— 频率;

l —— 母线长度。

A. 3. 3 容性电流计算实例

以某抽水蓄能电站所使用封闭母线尺寸为例, 计算单位长度封闭母线电容值 C_0 为 $3.83 \times 10^{-11} \text{F}$, 该电站的额定电压 U_r 为 24kV, 频率 f 为 50Hz, 母线长度 l 为 900m, 计算得容性电流值为 150mA。