

ICS 国际标准分类号  
CCS 中国标准文献分类号



# 团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

## 重力储能系统同步并网技术要求

Grid connection method of gravity energy storage system based on synchronous  
motors connecting to the grid directly

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布



## 目 次

目 次 .....	I
前 言 .....	II
引 言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 并网条件及方法 .....	2
4.1 并网条件与方式 .....	2
4.2 并网方法 .....	2
4.3 并网方法适应性比较 .....	4
4.4 发电电动机的起动 .....	4
4.5 发电电动机的停止 .....	4
5 功率控制 .....	4
5.1 有功功率控制 .....	5
5.2 无功功率控制 .....	5
6 电能质量 .....	5
7 并网保护 .....	6
8 并网测试方法 .....	6
附 录 A .....	8
附 录 B .....	10
附 录 C .....	11
参考文献 .....	13

## 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。

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。。。提出。

本文件由。。。归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

## 引 言；

具有间歇性及波动性特征的大规模分布式可再生能源密集接入配电网，会带来配电网功率及电压的频繁波动，对配电网的运行安全及稳定性带来潜在危害。储能是抑制配电网功率及电压波动的一种有效方法。

基于抽水蓄能原理的重力储能技术，可通过储能介质物理升降的方式驱动发电电动机实现电能和势能的转换，具有储能介质种类多样、系统结构形式多样、绿色环保、无自然损耗、环境适应性强等一系列特点，是一种应用范围广的新型储能技术。

当重力储能系统采用直接同步并网运行时，需在按照配电网的功率及电压波动控制要求进行多次频繁的充放电运行工况切换，包括由充电放电模式相互切换时的频繁起动、充电或放电过程中功率突增或突减等，都将会对并网系统产生冲击，从而对并网系统运行安全性及稳定性造成潜在风险。因此，迫切需要与通用要求、连接方案、功率和电压控制、电能质量、并网测试和并网保护相关的统一标准，以规范具有不同容量和特性的重力储能系统直接并网方法和流程。

本文件适用于电网设计者、运营商、互联系统集成商、设备制造商和储能系统所有者。这些规范和要求将确保公用电力系统的安全性和可靠性。



# 重力储能系统同步并网技术要求

## 1 范围

本文件规定了用于重力储能系统的同步并网条件及方法、有功和无功功率控制、电能质量、并网保护以及并网测试方法。

适用于发电电动机机端电压为 0.4kV、6kV、10kV 和 20kV，单机容量为 kW 级、MW 级及以上的垂直式、斜坡式等重力储能系统。

## 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 12325 电能质量 供电电压偏差
- GB/T 12326 电能质量 电压波动和闪变
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- 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 24337 电能质量 公用电网间谐波
- GB/T 32899-2016 抽水蓄能机组静止变频启动装置试验规程
- GB/T 7409.3 同步电机励磁系统 大、中型同步发电机励磁系统技术要求
- DL/T 751-2001 水轮发电机运行规程
- DL/T 843 大型汽轮发电机励磁系统技术条件
- Q/GDW 10773-2017 大型发电机组涉网保护技术要求

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 重力储能系统

采用电机实现离散储能介质上升储存能量，通过储能介质下降带动发电电动机发电的系统。一般包含重力储能介质、传动系统和发电电动机及其辅助设备。

### 3.2

#### 垂直式重力储能

储能介质的运行轨迹与水平面垂直的重力储能系统。

### 3.3

#### 斜坡式重力储能

储能介质的运行轨迹与水平面夹角为锐角的重力储能系统。

### 3.4

#### 发电电动机

用于重力储能电站，既可作为发电机使用，又可作为电动机使用的旋转电机。

### 3.5

#### 重力储能介质

用于存储能量并实现势能与电能转换的固态储能介质。

### 3.6

#### 堆场

用来堆放重力储能介质的区域，包含高势能位的“上堆场”、低势能位的“下堆场”和用于同步发电电动机起动的“专用堆场”等。

### 3.7

#### 充电响应时间

热备用状态下,重力储能系统自收到控制信号起,从热备用状态转成充电,直到充电功率首次达到额定功率的90%的时间。

### 3.8

#### 放电响应时间

热备用状态下,重力储能系统自收到控制信号起,从热备用状态转成放电,直到放电功率首次达到额定功率的90%的时间。

### 3.9

#### 充电调节时间

热备用状态下,重力储能系统自收到控制信号起,从热备用状态转成充电,直到充电功率达到额定功率且功率偏差始终控制在额定功率的 $\pm 2\%$ 以内的起始时刻的时间。

### 3.10

#### 放电调节时间

热备用状态下,重力储能系统自收到控制信号起,从热备用状态转成放电,直到放电功率达到额定功率且功率偏差始终控制在额定功率的 $\pm 2\%$ 以内的起始时刻的时间。

## 4 并网条件及方法

### 4.1 并网条件与方式

#### 4.1.1 并网条件

##### 4.1.1.1 电压相序

发电电动机相序与电网侧相序必须相同。

##### 4.1.1.2 电压相位

发电电动机机端电压与电网电压相位应保证一致,电压相位偏差允许范围为 $\alpha$ 。

##### 4.1.1.3 电压幅值

发电电动机机端电压幅值与电网电压幅值应保证一致,电压幅值偏差允许范围为 $\beta$ 。

##### 4.1.1.4 电压频率

发电电动机机端电压与电网电压频率应保证一致,电压频率偏差允许范围为 $\gamma$ 。

##### 4.1.1.5 总体要求

合闸并网时,应考虑断路器的合闸时间以及发电电动机机端电压和母线电压之间的频率差,同步时刻发电电动机机端电压的频率和相位角宜超前母线电压,以便立即建立一些正向发电负荷。

#### 4.1.2 并网方式

##### 4.1.2.1 直接并网

发电电动机直接并网,发电电动机与电网之间无电力电子装置,起动方式采用变频起动或原动力起动。

##### 4.1.2.2 其它并网方式

重力储能系统中同步发电电动机的其它并网方式。

### 4.2 并网方法

#### 4.2.1 同步发电电动机并网基本要求

同步发电电动机直接并网时,除了使用全电压感应或降压起动的同步发电电动机外,必须在转速达到同步速且满足并网条件时才能并网。并网可手动完成,也可使用自动同步设备完成。出于安全性的考虑,在发电电动机首次起动前应检查电网与发电电动机相序,保证发电电动机与电网相序一致;在加速起动的过程中,应保证发电电动机的转速平稳上升。

#### 4.2.2 变频起动后直接并网

##### 4.2.2.1 变频起动系统与同步发电电动机电压等级相同



当变频起动系统电压等级与同步发电电动机机端电压等级相同时，起动并网拓扑见附录 A，根据图 A.1，具体起动并网流程可按如下步骤进行：

#### 起动流程：

- (a) 导通起动回路后，应投入励磁系统，同步发电电动机机端电压应不大于额定电压。
- (b) 发电电动机加速过程中，应调节变频起动系统频率加速发电电动机，使其并网前转速不低于 $\omega_1$ 。

#### 并网流程：

- (a) 调节励磁系统，应使同步发电电动机机端电压达到额定幅值。
- (b) 调节发电电动机转速，当同步发电电动机电压相位和频率满足并网要求时，完成并网，同时断开起动回路，同步发电电动机进入并网运行状态。

### 4.2.2.2 变频起动系统与同步发电电动机电压等级不同

当变频起动系统电压等级与同步发电电动机机端电压等级不同时，可根据系统实际运行情况需求选择下列两种起动并网方式。

#### 4.2.2.2.1 变频起动系统配备升压变压器

并网过程中须保持同步发电电动机频率连续可调，可采用附录 A 中的图 A.2 所示拓扑进行起动并网，在变频起动系统出口增加升压变压器满足变频起动系统和同步发电电动机的电压等级需求，根据图 A.2，具体起动并网流程可按如下步骤进行：

#### 起动流程：

- (a) 导通起动回路，其中升压回路断开，旁路导通。
- (b) 投入励磁系统，同步发电电动机机端电压应不大于额定电压。
- (c) 发电电动机加速过程中，应调节变频起动系统频率使发电电动机加速，当发电电动机加速至 $\omega_2$ 附近，断开旁路，导通升压回路。
- (d) 调节变频起动系统频率继续加速发电电动机，使其并网前转速不低于 $\omega_1$ 。

#### 并网流程：

参考 4.2.2.1 小节的并网流程。

#### 4.2.2.2.2 变频起动系统不配备升压变压器

当变频起动系统不配备升压变压器时，可采用图 A.1 所示拓扑进行起动并网，具体起动并网流程可按如下步骤进行：

#### 起动流程：

- (a) 导通起动回路，投入励磁系统，应保证同步发电电动机机端电压小于变频起动系统额定电压。
- (b) 发电电动机加速过程中，应调节变频起动系统频率加速发电电动机。
- (c) 当发电电动机转速达到并网要求时，断开起动回路，发电电动机可依靠自身及系统惯性持续运转，此时同步发电电动机转速应不小于 $\omega_3$ 。

#### 并网流程：

- (a) 调节励磁系统，应使同步发电电动机机端电压达到额定幅值。
- (b) 随着发电电动机转速不断降低，当同步发电电动机电压幅值、相位和频率满足并网要求时，完成并网，同步发电电动机进入并网运行状态。

### 4.2.3 由原动力起动后直接并网

#### 4.2.3.1 储能介质提供原动力

储能介质为同步发电电动机提供原动力，通过传动系统起动同步发电电动机，其起动并网拓扑如附录 A 中的图 A.3 所示，根据图 A.3，具体起动并网流程可按如下步骤进行：

#### 起动流程：

- (a) 发电电动机起动前，确认当前“专用堆场”内的储能介质满足起动需求。
- (b) 释放“专用堆场”储能介质，储能介质通过传动系统带动发电电动机起动并进入加速过程，发电电动机加速过程中，励磁系统处于断开状态。
- (c) 当发电电动机转速达到并网要求时，投入励磁系统，储能介质与传动系统脱离，发电电动机可依靠自身及系统惯性持续运转，此时同步发电电动机转速应不小于 $\omega_3$ 。

#### 并网流程：

- (a) 励磁系统应处于投入状态，调节励磁系统，应使同步发电电动机机端电压达到额定幅值。
- (b) 随着发电电动机转速不断降低，当同步发电电动机电压幅值、相位和频率满足并网要求时，完成并网，同步发电电动机进入并网运行状态。

#### 4.2.3.2 辅助电机提供原动力

辅助电机为同轴连接的同步发电电动机提供原动力，其起动并网拓扑如附录 A 中的图 A.4 所示，根据图 A.4，具体起动并网流程可按如下步骤进行：

##### 起动流程：

(a) 起动辅助电机，辅助电机通过传动系统带动同步发电电动机起动并进入加速过程，辅助电机驱动发电电动机加速过程中，励磁系统处于断开状态，当发电电动机转速接近同步速时（通常为 $\omega_1$ ），投入励磁系统。

##### 并网流程：

- (a) 励磁系统应处于投入状态，调节励磁系统，应使同步发电电动机机端电压达到额定值。
- (b) 调节发电电动机转速，当同步发电电动机电压相位和频率满足并网要求时，完成并网，断开辅助电机电源，同步发电电动机进入并网运行状态。

### 4.3 并网方法适应性比较

4.2.2.1 并网方法适用于变频起动系统电压等级与同步发电电动机机端电压等级相同的情况。

4.2.2.2.1 并网方法适用于变频起动系统电压等级与同步发电电动机机端电压等级不同，配备变压器的情况。

4.2.2.2.2 并网方法适用于变频起动系统电压等级与同步发电电动机机端电压等级不同，不配备变压器的情况。

4.2.3.1 并网方法适用于机械环节运行速度较低的重力储能系统。

4.2.3.2 并网方法适用于惯性较大的重力储能系统。

### 4.4 发电电动机的起动

(a) 当并网点电网侧的频率或电压偏差超出 GB/T 15945 和 GB/T 12325 规定的范围时，重力储能系统的发电电动机不宜起动。

(b) 重力储能系统的发电电动机起动时不应引起公共连接点电能质量超出规定的范围。

(c) 通过 10kV~35kV 电压等级并网的重力储能系统发电电动机起停时应执行电网调度机构的指令。

### 4.5 发电电动机的停止

#### 4.5.1 正常运行工况下的停机

在正常情况下，发电电动机解列前必须将有功功率和无功功率降至空载，然后再断开发电电动机的断路器。完成以上步骤后，方可进行停机操作。发电电动机仅于检修或停机时间较长时才将母线隔离开关拉开并投入制动装置。

发电电动机每次停机后，应检查绕组、轴承冷却供水是否已停止，全部制动装置均已复归，为下次开机做好准备。

发电电动机停机时，无论采取何种制动方式应能连续制动，直到停止转动为止。采用电制动停机时，应对停机过程中定子电流进行监视。

#### 4.5.2 事故工况下的停机

a) 当重力储能系统发电电动机机组在发电状态运行时，其停机方法按照 DL/T 751-2001 的 6.2.1 的规定执行。

b) 当重力储能系统发电电动机机组在电动状态运行时，若发电电动机转速上升则应保持最大功率不变；若发电电动机转速下降时则应立即将机组从电网解列。

## 5 功率控制

## 5.1 有功功率控制

重力储能系统由离散储能介质提供有功功率，有功功率波动如图 1 所示。

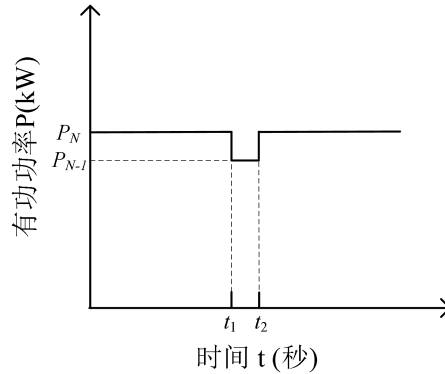


图 1（并网运行有功功率波动）

图 1 中  $P_N$  为系统的有功功率，此时系统中有  $N$  个储能介质运行， $P_{N-1}$  为储能介质切换状态下的有功功率，此时系统中有  $N-1$  个储能介质运行。

系统有功功率波动率  $\Delta P$  计算如下：

$$\Delta P = \frac{P_N - P_{N-1}}{P_N} \times 100\% \quad (1)$$

系统有功功率波动率应小于  $\epsilon$ 。

## 5.2 无功功率控制

### 5.2.1 无功调节

基于同步发电电动机的重力储能系统应具备无功功率调节和电压控制能力，能够按照电力调度机构指令，自动调节其发出（或吸收）的无功功率，控制并网点电压在正常运行范围内，调节速度和控制精度应能够满足电力系统电压调节的要求。

基于同步发电电动机的重力储能系统在非重力势能储存或释放状态时，应同样具备上述无功调节能力。

### 5.2.2 励磁系统

5.2.2.1 基于同步发电电动机的重力储能系统应配置励磁系统，可选择静止励磁系统，静止励磁系统的电源可来源于厂用电。

5.2.2.2 同步发电电动机的励磁电流应满足 DL/T 843 的相关要求。

5.2.2.3 同步发电电动机励磁系统的顶值电压倍数、顶值电流倍数、标称响应应满足 GB/T 7409.3 的相关要求。

5.2.2.4 同步发电电动机励磁系统的空载响应特性、负荷响应特性应符合 GB/T 7409.3、DL/T 843 的相关要求。

5.2.2.5 同步发电电动机励磁系统应全部或部分装设附加功能：PT 断线保护、无功电流补偿、过励限制、欠励限制、V/Hz（伏赫）限制、过励保护、定子电流限制等。

5.2.2.6 同步发电电动机励磁系统的励磁变应符合 GB/T 7409.3 的相关要求。

## 6 电能质量

6.1 基于同步发电电动机的重力储能系统接入公共连接点的谐波电压应满足 GB/T 14549 的要求。

6.2 基于同步发电电动机的重力储能系统接入公共连接点的间谐波电压应满足 GB/T 24337 的要求。

6.3 基于同步发电电动机的重力储能系统接入公共连接点的电压偏差应满足 GB/T 12325 的要求。

6.4 基于同步发电电动机的重力储能系统接入公共连接点的电压波动和闪变值应满足 GB/T 12326 的要求。

6.5 基于同步发电电动机的重力储能系统接入公共连接点的电压不平衡应满足 GB/T 15543 的要求。

6.6 基于同步发电电动机的重力储能系统接入公共连接点的直流分量不应超过其交流额定值的 0.5%。

## 7 并网保护

### 7.1 定子过负荷保护

定子过负荷保护按照 Q/GDW 10773-2017 的 4.1 的规定执行。

### 7.2 转子过负荷保护

转子过负荷保护按照 Q/GDW 10773-2017 的 4.2 的规定执行。

### 7.3 失磁保护

失磁保护按照 Q/GDW 10773-2017 的 4.3 的规定执行。

### 7.4 失步保护

失步保护按照 Q/GDW 10773-2017 的 4.4 的规定执行。

### 7.5 频率异常保护

频率异常保护按照 Q/GDW 10773-2017 的 4.5 的规定执行。

### 7.6 过激磁保护

过激磁保护按照 Q/GDW 10773-2017 的 4.7 的规定执行。

### 7.7 发电电动机定子过电压保护

发电电动机定子过电压保护按照 Q/GDW 10773-2017 的 4.8 的规定执行。

### 7.8 发电电动机定子低电压保护

发电电动机定子低电压保护按照 Q/GDW 10773-2017 的 4.9 的规定执行。

### 7.9 过励限制及过励保护

过励限制及过励保护按照 Q/GDW 10773-2017 的 4.11 的规定执行。

## 8 并网测试方法

### 8.1 一般规定

8.1.1 试验前应确认静止变频启动装置满足相关实验条件。

8.1.2 试验前应准备试验所需的工器具及机器仪表。

8.1.3 试验人员应熟悉试验目的、试验条件、试验方法及所用仪器仪表的原理、性能和使用方法等。

### 8.2 输出变压器试验

当重力储能系统采用图 A.2 的并网拓扑进行并网时，输出变压器试验按照 GB/T 32899-2016 的 6.2 的规定执行。

### 8.3 输入/输出断路器试验

输入/输出断路器试验按照 GB/T 32899-2016 的 6.3 的规定执行。

### 8.4 隔离开关（含旁路开关）、接地开关试验

隔离开关（含旁路开关）、接地开关试验按照 GB/T 32899-2016 的 6.6 的规定执行。

### 8.5 高压线缆试验

高压线缆试验按照 GB/T 32899-2016 的 6.7 的规定执行。

### 8.6 母线试验

母线试验按照 GB/T 32899-2016 的 6.8 的规定执行。

### 8.7 避雷器试验

避雷器试验按照 GB/T 32899-2016 的 6.10 的规定执行。

### 8.8 电流互感器试验

电流互感器试验按照 GB/T 32899-2016 的 6.11 的规定执行。

### 8.9 电压互感器试验

电压互感器试验按照 GB/T 32899-2016 的 6.12 的规定执行。

### 8.10 整流桥、逆变桥试验

整流桥、逆变桥试验按照 GB/T 32899-2016 的 6.13 的规定执行。

### 8.11 保护功能试验

保护功能试验按照 GB/T 32899-2016 的 6.15.3 的规定执行。

### 8.12 充放电响应时间试验

#### 8.12.1 充电响应时间测试

在重力储能系统额定运行条件下，将重力储能系统调整至热备用状态，测试充电响应时间，测试步骤如下：

- (a)记录重力储能系统收到控制信号的时刻，记为  $t_{C1}$ ；
- (b)记录重力储能系统充电功率首次达到 90%额定功率的时刻，记为  $t_{C2}$ ；
- (c)按照式计算充电响应时间  $RT_C$ ：

$$RT_C = t_{C2} - t_{C1} \quad (2)$$

- (d)重复(a)~(c)两次，充电响应时间取 3 次测试结果的最大值。

#### 8.12.2 放电响应时间测试

在重力储能系统额定运行条件下，将重力储能系统调整至热备用状态，测试放电响应时间，测试步骤如下：

- (a)记录重力储能系统收到控制信号的时刻，记为  $t_{D1}$ ；
- (b)记录重力储能系统放电功率首次达到 90%额定功率的时刻，记为  $t_{D2}$ ；
- (c)按照式计算放电响应时间  $RT_D$ ：

$$RT_D = t_{D2} - t_{D1} \quad (3)$$

- (d)重复(a)~(c)两次，放电响应时间取 3 次测试结果的最大值。

### 8.13 充放电调节时间测试

#### 8.13.1 充电调节时间测试

在重力储能系统额定运行条件下，将重力储能系统调整至热备用状态，测试充电调节时间，测试步骤如下：

- (a)记录重力储能系统收到控制信号的时刻，记为  $t_{C3}$ ；
- (b)记录重力储能系统充电功率的偏差维持在额定功率的  $\pm 2\%$  以内的起始时刻，记为  $t_{C4}$ ；
- (c)按照式计算充电调节时间  $AT_C$ ：

$$AT_C = t_{C4} - t_{C3} \quad (4)$$

- (d)重复(a)~(c)两次，充电调节时间取 3 次测试结果的最大值。

#### 8.13.2 放电调节时间测试

在重力储能系统额定运行条件下，将重力储能系统调整至热备用状态，测试放电调节时间，测试步骤如下：

- (a)记录重力储能系统收到控制信号的时刻，记为  $t_{D3}$ ；
- (b)记录重力储能系统放电功率的偏差维持在额定功率的  $\pm 2\%$  以内的起始时刻，记为  $t_{D4}$ ；
- (c)按照式计算充电调节时间  $AT_D$ ：

$$AT_D = t_{D4} - t_{D3} \quad (5)$$

- (d)重复(a)~(c)两次，放电调节时间取 3 次测试结果的最大值。

附录 A

(资料性附录)

重力储能系统启动并网拓扑

A.1 同步发电电动机变频启动直接并网拓扑

同步发电电动机变频启动直接并网的拓扑见图 A.1。

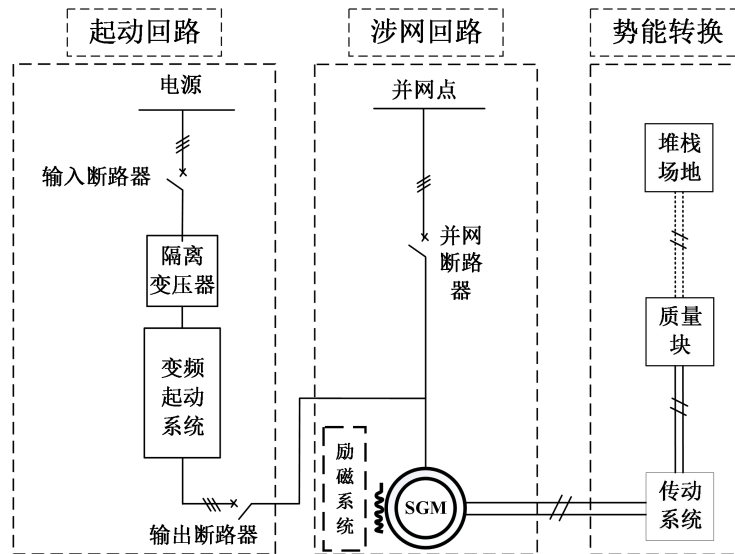


图 A.1 (变频启动直接并网拓扑)

A.2 同步发电电动机变频启动系统配备升压变压器直接并网拓扑

同步发电电动机变频启动系统配备升压变压器直接并网的拓扑见图 A.2。

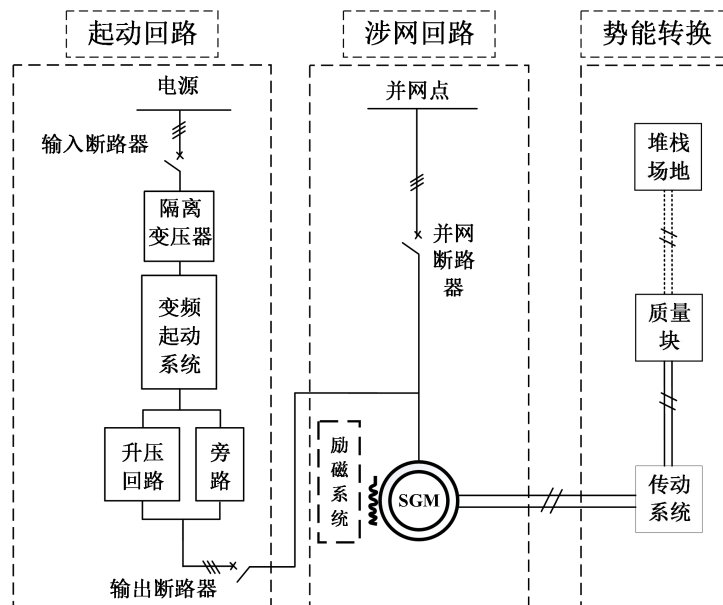


图 A.2 (变频启动直接并网拓扑(升压))

### A.3 同步发电电动机由储能介质启动直接并网拓扑

同步发电电动机由储能介质启动直接并网的拓扑见图 A.3。

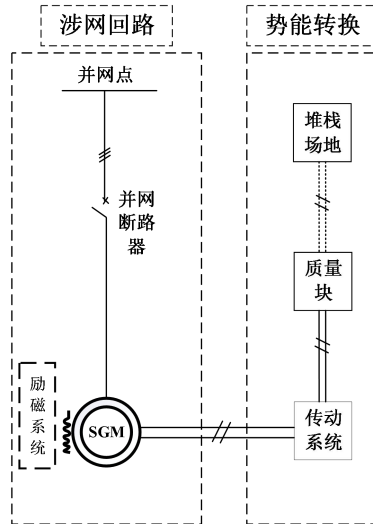


图 A.3 （储能介质启动直接并网拓扑）

### A.4 同步发电电动机由同轴辅助电机启动直接并网的拓扑

同步发电电动机由同轴辅助电机启动直接并网的拓扑见图 A.4。

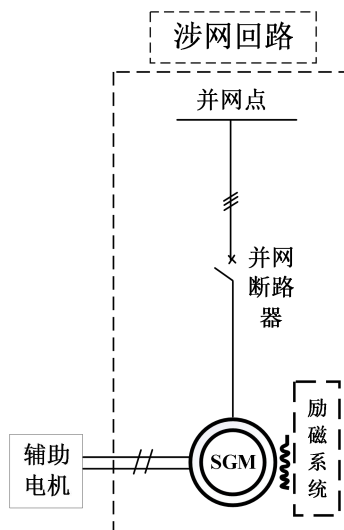


图 A.4 （辅助电机启动直接并网拓扑）

附 录 B  
(规范性附录)  
并网过程各指标推荐值

**B.1 同步发电电动机的重力储能系统并网过程各指标推荐**

基于同步发电电动机的重力储能系统并网过程各指标推荐值见表 B.1。

**表 B.1 (并网过程各指标推荐值)**

序号	指标	推荐值
1	$\alpha$	±10 度
2	$\beta$	±10%额定电压
3	$\gamma$	±0.5%额定频率
4	$\varepsilon$	±8%额定功率
5	$\omega_1$	95%额定转速
6	$\omega_2$	8%额定转速
7	$\omega_3$	105%额定转速



## 附录 C

(资料性附录)

## 重力储能系统现有示范工程

## C.1 Energy Vault 公司储能塔式重力储能系统

美国与瑞士联合的 Energy Vault 公司完成了“储能塔”式重力储能系统的技术开发与样机验证，并于 2020 年启动了商业示范工程建设，该系统由一台安装在 120 米高钢塔上的六臂起重机组成(图 C.1)，起重机工作原理与抽水蓄能系统相同，将 35 吨的混凝土往复吊装堆垛，实现系统充放电控制，该系统容量为 5MW/35MWh，可实现 ms 级响应，为新能源消纳或电网平稳运行提供可持续支持，并于 2020 年底完成了第一个示范工程的并网试运行。



图 C.1 Energy Vault 公司重力储能商业示范工程

## C.2 英国 Gravitricity 公司地下竖井式重力储能系统

英国 Gravitricity 公司，利用废弃垂直矿井，将钻机吊起下放完成电能的存储与释放(图 C.2)，于 2021 年在爱丁堡利斯港使用 15 米高的钻机成功建造、调试并运营了一个 250kW 的重力势能并网示范项目。

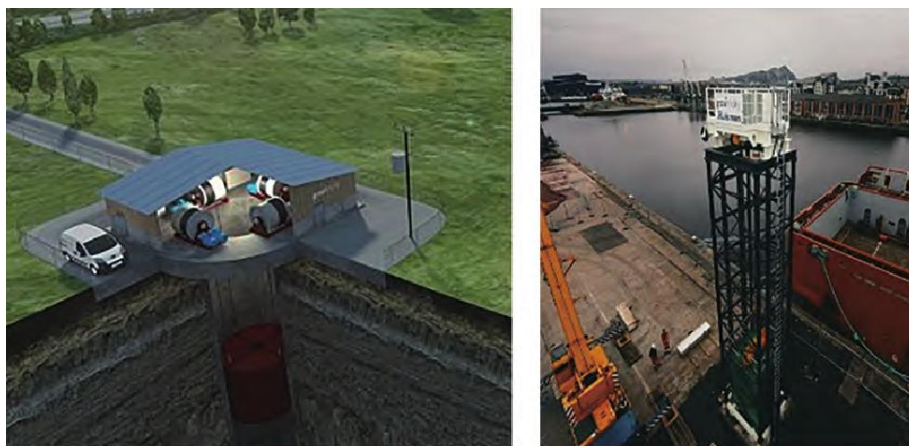


图 C.2 Gravitricity 公司地下竖井式重力储能

### C.3 中国天楹公司垂直式矩阵型重力储能系统

2021年11月 Energy Vault 公司授权中国天楹公司在江苏如东启动 25MW/100MWh 的重力储能示范项目，拟采用垂直式矩阵型结构，该示范工程预计 2023 年第四季度完成建设，届时将成为国内外首套百兆瓦时垂直式重力储能示范工程，目前该项目正在建设过程中。

## 参考文献

- [1] 李志坚,吴崇昊,万洛飞,等. 大型同步调相机的启机过程分析与启机保护实现[J]. 电力系统保护与控制, 2020, 48(20): 148-154.
- [2] 李官军,杨波,陶以彬,等. 抽水蓄能机组静止变频器起动控制系统半实物仿真[J]. 电机与控制应用, 2011, 38(1): 52-56, 59.
- [3] 基于惰速点整定的新型同步调相机并网成功率提高方法[J]. 电力系统自动化, 2020, 44(6): 138-145.
- [4] IEEE 67-2005-IEEE Guide for Operation and Maintenance of Turbine Generators
- [5] IEEE 492-1999-IEEE Guide for Operation and Maintenance of Hydro-Generators
- [6] 何国庆,刘纯,张纪同等.GB/T 33593-2017《分布式电源并网技术要求》解读(英文)[J].China Standardization,2018,No.88(01):78-83.

T/CES XXX—XXXX