

ICS

备案号：CEC 745-2013

Q/GDW

国家电网公司企业标准

Q/GDW 1774—2013

大中型水电站黑启动试验技术规程

Specifications of Black Start for Large-Middle Hydropower Station

2013-03-14 发布

2013-03-14 实施

国家电网公司 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..... 1

4 一般试验条件、要求及试验分类..... 1

5 黑启动预备试验..... 2

6 水电站黑启动试验..... 4

7 配合电网孤网试验应开展的工作..... 5

编制说明..... 6

前 言

本标准规定了大中型水电站黑启动试验的项目和内容，旨在保证水电站黑启动试验的安全性、可实施性，有效指导水电站黑启动试验工作。

本标准由国家电网公司运维检修部提出并负责解释；

本标准由国家电网公司科技部归口；

本标准负责起草单位：华东分部、华东电力试验研究院有限公司；

本标准主要起草人：项捷、凌平、胡静、徐光昶、陈浩、秦俊、朱帷晞；

本标准首次发布。

大中型水电站黑启动试验技术规程

1 范围

本标准规定了大中型水电站黑启动试验项目、内容和一般要求。

本标准适用于大中型水电站黑启动能力验证试验、定期复核性试验以及配合电网进行孤网试验，其他类型电站的黑启动试验可参照本标准有关条文执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件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。

DL/T 496 水轮机电液调节系统及装置调整试验导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用本标准。

3.1

黑启动 **Black Start**

指整个电网因事故崩溃或部分电网瓦解后，在不具备任何外界电源的情况下，由系统中具备自启动能力的机组率先启动，为电网中其他无自启动能力的机组提供辅助设备工作电源，使其恢复发电、进而逐步恢复整个电网正常供电的过程。

3.2

黑启动预备试验 **Pre-Test of Black Start**

黑启动预备试验通常指水电站各公用系统和机组辅助系统为配合电站黑启动试验单独进行的相关试验。

3.3

水电站黑启动试验 **Black Start Test of the Hydropower Plant**

水电站与外界电源断开或模拟断开情况下，在柴油发电机等自有资源的支撑下，启动机组，恢复电站厂用供电的试验。

3.4

孤网试验 **Grid Island Test**

孤网试验是指电网通过指定供电路径，由一个或多个电源向特定设备供电的试验。

3.5

黑启动耗时 **Consuming Time of Black Start**

从调度发令到电站具备向电网供电条件的时间。

4 一般试验条件、要求及试验分类

4.1 一般要求

4.1.1 水电站黑启动试验应根据各试验阶段、试验范围、初始状态（交流供电部分消失、交流供电全部消失）制定试验实施方案，方案中应明确试验停电范围、安全隔离点、安全措施和故障紧急处理预案。

4.1.2 水电站黑启动试验应按照电网黑启动预案，结合电站设备实际情况进行。

4.1.3 水电站黑启动耗时应满足电网黑启动预案的时间要求。

4.2 一般条件

水电站的黑启动试验至少应具备下述条件：

4.2.1 水电站和机组在配置上具备黑启动能力。

4.2.2 水库水位满足机组启动要求。

4.2.3 上下游（水库）检修闸门、工作闸门、尾水闸门等处于开启状态。

4.2.4 水电站内各区域在无交流供电情况下仍能保持通讯通畅。

4.2.5 对配备柴油发电机作为事故备用电源的水电站，柴油机容量应满足黑启动过程所需厂用电负荷的要求。

4.2.6 对机组黑启动无需事故备用电源的水电站，应对电站交流供电消失后辅助设备的黑启动能力进行测试评估。

4.2.7 直流系统蓄电池容量应满足黑启动试验要求。

4.2.8 试验期间机组应断开与电网电气一次的连接，即机组变压器单元高压侧断路器或相应的线路断路器在断开位置。

4.3 黑启动试验分类

大中型水电站黑启动试验一般分两大类：

4.3.1 第一类：在全厂交流供电全部消失的情况下，不依靠柴油发电机等事故备用电源，利用机组本身的黑启动能力快速启动并完成机组零起升压，从而恢复厂用动力电源的黑启动方式。

4.3.2 第二类：在全厂交流供电全部消失的情况下，依靠柴油发电机等事故备用电源为电站及机组辅助设备供电，完成机组零起升压，继而恢复厂用动力电源的黑启动方式。

5 黑启动预备试验

黑启动预备试验一般包括电站直流系统（包括通信直流系统）及 UPS 系统性能测试、厂用动力电源黑启动切换流程验证、柴油发电机负荷试验等。电站应按照设备情况、厂用电接线方式，确定试验项目，制定黑启动预备试验实施方案。

5.1 水电站直流系统及 UPS 系统性能测试

5.1.1 直流系统性能测试

5.1.1.1 测试前应确认所有机组在停运状态，确认直流系统运行正常，无绝缘异常或接地报警。

5.1.1.2 测试宜考虑在直流母线交流充电电源开关断开，且直流系统黑启动试验最大运行方式下进行（如励磁直流起励、高压直流注油泵、事故照明等投入）。

5.1.1.3 测试验证事故照明切换的及时性、照明范围的正确性，检查运行区域、廊道的照明良好。

5.1.1.4 对事故照明配备逆变装置的电站，应对逆变装置连续运行性能及时间进行验证和记录。

5.1.1.5 测试电站直流系统（包括通信直流系统）在无交流充电时，直流系统输出电压不低于 90% 额定电压的持续时间，记录直流电压、电流的变化。若直流系统有定期充放电试验的报告，可予以采用，不再重复试验。

5.1.2 UPS 系统性能测试（若电站操作监视系统采用独立的 UPS）

5.1.2.1 测试前需确认所有机组在停运状态，UPS 系统运行正常，无报警。

5.1.2.2 测试 UPS 系统在交流断开、直流逆变供电的状态下，输出电压不低于 90% 额定电压的持续运行时间，若出现异常应停止试验。

5.2 厂用电投切流程校验

5.2.1 应根据水电站厂用电接线编制黑启动厂用动力电源切换实施方案，实施方案应包括黑启动厂用动力电源投入和恢复步骤。

5.2.2 实施方案应明确在水电站交流供电全部消失的情况下的厂用动力电源开关和备自投操作步骤,以及机组黑启动成功后厂用电恢复操作步骤,设备恢复步骤可按供电重要性和优先级别依次排列。

5.2.3 在进行交流供电部分消失、模拟进行柴油机供电的厂用电投切试验时,应采取隔离措施避免不同电源间的非同期合闸。

5.2.4 经实际操作验证可行的黑启动厂用电投切流程,在条件许可的情况下应尽可能利用监控系统远方操作。

5.2.5 对厂用电不能自动控制的水电站,应将经试验验证的厂用电投切流程编入电站运行规程,确保电站黑启动时手动操作迅速、无误地完成。

5.3 无事故备用电源黑启动能力的测试和评估

针对水电站实际情况,确定机组黑启动所需的关键辅助设备,分析这些设备从机组交流供电全部消失到机组自用配电盘供电恢复过程中对机组启停和连续运行安全性的影响。

5.3.1 按压缩空气系统及油系统最低运行参数,测试调速器及进水阀油压装置在断电后,油压下降速度,机组控制调节情况,及在事故油压时机组紧急停机的安全性能。

5.3.2 验证技术供水系统断电时机组启停的安全性,记录机组在冷却水停止循环的情况下轴瓦、密封、定子等温度上升趋势,并进行运行安全评估。

5.3.3 确认机组在交流供电消失时,高压直流注油泵自动投退功能正常。

5.3.4 确认励磁系统在交流供电消失后,可控硅冷却系统可满足机组黑启动要求。

5.3.5 在黑启动运行方式下,检查机组顶盖排水泵停运后的顶盖水位上升趋势,并对机组运行安全性能进行评估。

5.3.6 测试变压器冷却装置在交流供电消失情况下的油温及线圈温度上升趋势,并对变压器运行安全性能开展评估。

5.3.7 验证电站在电网要求的黑启动时间内,公用系统停运对水电站公用设备、设施运行安全性(如渗漏排水、防洪排水系统等)的影响。

5.4 柴油发电机负荷测试(适用于配备事故备用电源的电站)

5.4.1 柴油发电机空载试验

5.4.1.1 试验前应检查确认柴油发电机启动所需的蓄电池电压、燃料油位、润滑油油位正常,柴油机发变组保护投入运行,整定值设置正确。

5.4.1.2 检查确认柴油发电机启动后,发电机运行无异音、无异味。

5.4.1.3 记录柴油发电机启动需要的时间,检查柴油发电机起励时输出电压超调量在设备安全供电范围内。

5.4.1.4 验证柴油发电机空载运行性能,定期记录运行中柴油发电机电压、频率、轴承温度、绕组温度、冷却水温度等数据。

5.4.2 柴油发电机负载能力验证

5.4.2.1 柴油发电机负载试验实施方案应按照黑启动最大供电范围、接线方式、试验内容、试验步骤编制。

5.4.2.2 实施方案应考虑在模拟黑启动过程中,防止柴油发电机电源与其他厂用动力电源非同期合闸的技术措施。

5.4.2.3 记录柴油发电机启动到空载,在厂用保安段、机组自用配电盘和公用配电盘(可选)依次切换至柴油发电机供电的时间以及厂用电各段母线的电压、频率、电流及波动情况,确认柴油发电机在负载冲击时电气和机械性能正常。

5.4.2.4 验证柴油发电机带负载连续运行性能,记录柴油发电机功率、油耗、轴承温度、绕组温度、冷却水温度等参数的变化。

5.5 机组励磁和调速器黑启动性能检查

- 5.5.1 确认发电机无功进相和滞相范围符合电网黑启动预案要求。
- 5.5.2 具备残压启动能力的机组应按设计允许的最低起励残压进行测试验证。
- 5.5.3 确认调速器 5%以上的转速阶跃扰动试验已完成，转速调节符合 DL/T 496 的技术要求。
- 5.5.4 确认调速器在机组黑启动工况或频率波动超过一定范围时，能自动切换到转速/频率控制模式。
- 5.5.5 对协联方式的调速系统，需根据调节曲线及影响机组稳定运行的最小允许负荷，确定设备投退顺序，并试验验证厂用负荷投退中机组转速/频率波动是否可控制在设备安全供电范围内。

6 水电站黑启动试验

水电站黑启动试验包括黑启动自动化监控功能检查、机组零起升压试验、机组自带厂用电试验以及机组停机试验。电站应按照电网黑启动预案，制定相应的黑启动试验实施方案，并报调度批准。实施方案应针对试验中可能发生的各种情况，制定相关故障紧急处理预案。

6.1 黑启动自动化监控功能检查

- 6.1.1 黑启动可分为手动控制和自动控制两种方式，水电站应按照设计及设备状况，结合电网对黑启动时间要求，选择控制方式。
- 6.1.2 黑启动自动化监控功能检查应在确保机组及设备安全、满足快速恢复供电的基础上，验证流程设计的合理性、正确性和及时性。
- 6.1.3 对于黑启动厂用动力电源切换采用流程自动控制的水电站，在黑启动预备试验中，应对这部分流程进行验证。
- 6.1.4 对于黑启动手动控制的水电站，应通过试验确认黑启动厂用动力电源切换操作步骤，并将操作步骤纳入电站黑启动预案。
- 6.1.5 对黑启动采用自动流程控制的水电站，应对控制具备条件、闭锁状态以及是否需要人工干预进行检查，并尽可能优化流程，缩短黑启动时间。
- 6.1.6 黑启动自动化监控功能检查宜在水电站供电全部失去的情况下进行。

6.2 机组零起升压试验

- 6.2.1 试验前需根据试验实施方案检查安全隔离措施，确认励磁系统直流起励电源已投入。
- 6.2.2 对采用柴油发电机辅助供电的机组，试验时首先按照柴油发电机负载试验的步骤，启动柴油发电机向机组自用配电盘供电，并确认供电质量合格。
- 6.2.3 机组启动应在确认机组启动条件（包括试验模拟信号）满足后进行。
- 6.2.4 检查验证机组在启动过程中，技术供水系统、进水阀和调速器油压系统、高压油顶起装置运转正常，机组转速平稳上升、各部件温升正常，控制步骤正确。
- 6.2.5 检查调速器在转速/频率控制模式下，机组转速维持在许可的变化范围内。
- 6.2.6 确认机组起励正常，励磁在手动或自动控制模式下，发电机出口电压变化在运行许可范围内。
- 6.2.7 记录零起升压过程中励磁系统励磁电流、励磁电压、发电机建压时间、直流电源消耗等参数。
- 6.2.8 记录零起升压过程中机组机械、电气参数变化情况及机组零起升压所需要的时间。

6.3 机组自带厂用电试验

- 6.3.1 厂用动力电源恢复试验可分两阶段进行：第一阶段首先恢复影响机组和电站安全运行的关键辅助设备的供电；第二阶段恢复其他厂用供电，并配合验证机组小负荷下调速器和励磁系统调节性能。
- 6.3.2 厂用动力电源恢复第一阶段试验
 - 6.3.2.1 应首先恢复机组自用配电盘供电，恢复操作时应检查并记录发电机出口电压、转速/频率、机组自用配电盘电压。
 - 6.3.2.2 对配备柴油发电机供电、机组辅助设备采用主备配置方式且分别接入机组自用配电盘各分段的，在厂用母线恢复供电时，宜采取柴油机和机组分段供电的运行方式，提高机组辅助设备供电的

可靠性。

6.3.2.3 机组自用配电盘切换时应检查确认辅助设备以及机组运行状况。

6.3.3 厂用动力电源恢复第二阶段试验

6.3.3.1 根据制定的厂用动力电源投切实施方案，按规定顺序逐一投入相应设备。

6.3.3.2 为避免因负载投入产生的转速/频率异常波动，导致水轮机导叶开度突变，可在调速器软件中临时设置导叶开度高低限值。

6.3.3.3 试验中应严格监视机组在小负荷下的运行稳定性，出现异常应按照故障紧急处理预案进行。

6.3.3.4 试验前应做好参数的记录准备，记录数据至少包括转速、频率、电压、功率、导叶开度、水头、振动、摆度、轴承温度、发电机线圈和铁芯温度、厂用电电压、电流和功率等。

6.4 黑启动机组停机试验

6.4.1 机组停机应考虑正常停机及事故停机两种可能性。

6.4.2 对配备柴油发电机的电站，需对交流供电消失情况下机组正常停机及紧急停机的安全性进行评估，并进行试验验证。

6.4.3 黑启动试验后的厂用动力电源恢复应在机组停机后按照实施方案恢复操作步骤进行。

7 配合电网孤网试验应开展的工作

7.1 孤网试验应在水电站黑启动试验成功完成、试验报告已提交电网调度、电站黑启动耗时已初步核定，并已被电网确认作为黑启动电源的前提下进行。

7.2 孤网试验应在电网统一部署下，按照电网黑启动预案进行。

7.3 水电站应按照电网黑启动预案，编写相关的实施方案，提交调度审核确认。

7.4 在进行孤网试验前，应按照电网黑启动预案要求的路径、被启动电源的厂用电负荷情况及电网恢复过程，配合电网进行机组黑启动时保护、励磁、调速器、同期装置及机组小负荷运行稳定性等相关参数的计算和分析。分析和计算的内容可包括：

a. 孤网运行方式下，水电站线路侧发生三相短路时，线路保护动作的特性。

b. 孤网运行方式下，水电站线路、变压器、机组继电保护的设置和投退要求。

c. 按照确定的黑启动路径，机组向空载线路充电时的发电机机端电压控制以及厂用电保护对母线电压的最低运行要求。

d. 按照电网黑启动预案的供电顺序，计算和分析调速器的稳定性，以及负荷冲击下调速器的调节响应。

e. 确定水电站黑启动同期点参数对孤网中运行机组电气暂态特性的影响及同期方式对同期调整的要求。

f. 在确定的黑启动路径下，机组励磁自激励和振荡边界条件的仿真计算，及机组无功调节范围的验证。

g. 机组在低负荷不稳定区域下，机组最大许可的轴系运行稳定性保护定值及允许运行时间。

7.5 若电网黑启动预案要求水电站进行升压站断路器和隔离开关操作，需对升压站在交流供电消失后电气设备操作的可行性进行评估。

《大中型水电站黑启动试验技术规程》

编 制 说 明

目 次

一、编制背景.....8

二、编制主要原则.....8

三、与其他标准文件的关系.....8

四、主要工作过程.....8

五、标准结构和内容.....8

六、条文说明.....9

一、编制背景

为了保证电网的安全，在国家电监会颁布的《并网发电厂辅助服务管理暂行办法》的要求下，电站黑启动已逐步纳入电网服务的考核范围，尽管目前大中型水电及抽水蓄能电站一般均设计黑启动功能，但由于设计、配置上的差异，电站黑启动能力、安全性、可实施性及自动化程度差别很大，虽然部分水电站进行过黑启动试验功能验证，但基于电站本身的安全考虑和电网的限制，试验的范围和对黑启动能力的验证都缺乏规范性。

按照国家电网标准化工作的统一安排，2010 年华东分部、华东电力试验研究院有限公司组织编写《大中型水电站黑启动试验技术规程》，并依据《关于下达 2010 年度国家电网公司技术标准制(修)订计划的通知》(国家电网科[2010]320 号)的要求编写。

二、编制主要原则

本标准参考了现有行业、国家标准，遵循统一性、适用性和规范性原则，为规范大中型水电站黑启动试验工作提供技术依据。

三、与其他标准文件的关系

目前国家和行业尚未发行针对大中型水电站黑启动功能设计、配置和试验的相关文件，对于黑启动试验涉及设备的功能和性能要求部分参照了相关设备的标准文件。

四、主要工作过程

《大中型水电站黑启动试验技术规程》由国家电网公司运维检修部组织，华东分部、华东电力试验研究院有限公司结合 2010 年华东电网水电及抽水蓄能电站黑启动试验开展编写。

2010 年 6 月，完成编写大纲。

2010 年 10 月，编制完成初稿。

2010 年 11 月，完成初稿的讨论和修改，形成了征求意见稿。

2010 年 12 月，国家电网公司运维检修部向华东和东北分部、国网新源公司以及有水电管理的省电力公司共 14 家单位发函，征求意见。

2012 年 3 月，根据反馈意见修改完善后，形成送审稿。

2012 年 6 月，国家电网公司运维检修部组织专家审查会，对送审稿进行审查。根据审查会意见修改完善后，形成报批稿。

五、标准结构和内容

1. 范围

本章明确了本标准的主要内容和适用范围。

2. 引用标准与文件

本章列出了本标准所引用的相关标准。

3. 术语和定义

本章列示了本标准所涉及的术语和定义。

4. 一般试验条件、要求和试验分类

本章明确了水电站黑启动试验一般要求、应具备的条件和试验类型。

第 4.1 节，提出试验的一般要求。

第 4.2 节，提出试验的一般条件。

第 4.3 节，明确了水电站黑启动试验的分类

5. 黑启动预备项目

本章明确了水电站黑启动预备试验项目和测试校验内容。

第 5.1 节，提出直流系统（包括事故照明、通信）测试要求。

第 5.2 节，提出厂用电投切流程测试要求。

第 5.3 节，提出了无事故备用电源黑启动能力的测试和评估要求。

第 5.4 节，提出柴油发电机特性测试要求。

第 5.5 节，提出了对机组励磁和调速器性能检查要求。

6. 水电站黑启动试验

本章明确了水电站黑启动试验项目和具体试验流程、步骤。

第 6.1 节，提出了黑启动对自动化监控部分的检查要求。

第 6.2 节，提出了黑启动零起升压的一般流程要求。

第 6.3 节，提出了机组自带厂用电试验的一般流程要求。

第 6.4 节，提出了黑启动机组停机试验的要求。

7. 配合电网孤网试验应开展的工作

本章明确了水电站配合电网进行孤网试验前的一般要求及应进行的计算和分析工作内容。

六、条文说明

无。
