

ICS 27.100

F 24

备案号: 50760-2015

DL

中华人民共和国电力行业标准

DL/T 657 — 2015

代替 DL/T 657 — 2006

火力发电厂模拟量控制系统 验收测试规程

Code for acceptance test of modulating control system
in fossil fuel power plant

2015-07-01 发布

2015-12-01 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	1
4 验收测试内容及测试条件	3
5 功能测试	4
6 性能测试	4
7 文档验收	5
8 可用率考核	6
附录 A (规范性附录) 模拟量控制系统品质指标	8
附录 B (规范性附录) 模拟量控制系统验收测试项目及测试结果	15
附录 C (规范性附录) 模拟量控制系统投运情况一览表	18

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则起草。

本标准是对 DL/T 657—2006《火力发电厂模拟量控制系统验收测试规程》的修订，主要技术内容变化如下：

——扩大了适用范围，扩大到 125MW 及以上等级煤粉、循环流化床机组及燃气蒸汽联合循环机组；

——修订了相关技术指标；

——增加了一次调频、脱硫、脱硝系统模拟量控制的相关测试内容。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业热工自动化标准化技术委员会归口。

本标准负责起草单位：国网浙江省电力公司电力科学研究院。

本标准主要起草人：朱北恒、尹峰、罗志浩、李泉、陈小强、苏烨、陈卫、张永军、陈波、张建江、张鹏、张华磊。

本标准代替 DL/T 657—2006。

本标准于 1998 年首次发布，本次是第二次修订。本标准历次版本发布情况为：

——DL/T 657—1998、DL/T 657—2006。

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）。

火力发电厂模拟量控制系统验收测试规程

1 范围

本标准规定了火力发电厂模拟量控制系统验收测试的内容、方法,以及应达到的品质指标。

本标准适用于单机容量为 125MW 及以上等级机组的火力发电厂新建工程和技术改造工程的模拟量控制系统验收测试。

其他类型机组的验收测试以及机组检修后的验收测试也可参照本标准执行。

2 规范性引用文件

下列文件对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。

GB/T 26863 火电站监控系统术语

GB 50660—2011 大中型火力发电厂设计规范

DL/T 655 火力发电厂锅炉炉膛安全监控系统验收测试规程

DL/T 656 火力发电厂汽轮机控制系统验收测试规程

DL/T 659 火力发电厂分散控制系统验收测试规程

DL/T 701 火力发电厂热工自动化术语

DL/T 1083 火力发电厂分散控制系统技术条件

DL/T 1210 火力发电厂自动发电控制性能测试验收规程

DL/T 1213 火力发电机组辅机故障减负荷技术规程

DL/T 5190.4 电力建设施工及验收技术规范 第 4 部分:热工仪表及控制装置

3 术语和定义

GB/T 26863 和 DL/T 701 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

模拟量控制系统 **modulating control system; MCS**

通过前馈和反馈等作用对机炉及辅助系统的过程参数进行连续自动调节的控制系统的总称,包括过程参数的自动补偿和计算、自动调节、控制方式无扰动切换及偏差报警等功能。

3.2

协调控制系统 **coordinated control system; CCS**

将锅炉—汽轮发电机组作为一个整体进行控制,以满足机组负荷要求为主要控制目标,保持主蒸汽压力等主要参数在允许范围,兼顾机组效率和节能减排要求的单元级控制系统,主要包括机组负荷指令控制、机炉主控、热值校正、一次调频、辅机故障减负荷等控制回路。

3.3

控制子系统 **control subsystem**

构成模拟量控制系统的机炉各主要参数的调节系统,主要包括锅炉燃烧控制系统、汽轮机控制系统、锅炉给水控制系统、水煤比控制系统、汽温控制系统等。

3.4

AGC 控制方式 **AGC control mode**

CCS 的一种控制方式,根据电网发出的机组负荷指令对发电机组进行整体平衡控制。

3.5

负荷变动试验 load change test

在一定的负荷变化范围内, CCS 负荷指令以确定的变化速率和变动量, 单方向增加负荷和减少负荷的试验, 以考核 CCS 在不同负荷下稳定工况之间的转换能力。

3.6

AGC 负荷跟随试验 AGC-load-follow test

CCS 模拟在 AGC 控制方式下的负荷跟随试验。由调度中心或 CCS 负荷给定回路发出负荷变化指令, 在一定的负荷变化范围内以确定的负荷变化速率进行双向变动试验, 以考核 CCS 的负荷响应能力和适应负荷连续变化的能力。

3.7

辅机故障减负荷 runback; RB

当发生部分主要辅机故障跳闸, 机组允许的最大出力低于当前负荷时, 将机组负荷快速降低到实际所能达到的相应出力, 并能控制机组在允许参数范围内继续运行。RB 试验是通过主要辅机实态跳闸来检验机组在故障下的运行能力和 CCS 的控制性能, 保障机组在高度自动化运行方式下的安全性。

3.8

动态品质指标 transient performance specification

控制系统在受到内外扰动时, 动态调节过程中被调参数偏离新给定值的允许偏差指标。

3.9

稳态品质指标 steady-state performance specification

机组无明显内外扰动时, 被调参数偏离给定值的允许偏差及对控制系统稳定性的要求。

3.10

过渡过程衰减率 decay ratio

定值扰动试验中, 被调参数首次过调量 (M_1) 与第二次过调量 (M_2) 的差值与首次过调量 (M_1) 之比, 用 ψ 表示: $\psi = (M_1 - M_2) / M_1$ 。

3.11

稳定时间 settling time

从扰动试验开始到被调参数进入新稳态值的允许偏差范围内不再越出时的时间。

3.12

超调量 overshoot

对于阶跃响应, 为偏离输出变量最终稳态值的最大瞬时偏差, 通常以最终稳态值与初始稳态值之差的百分数表示。

3.13

实际负荷变化速率 actual-load-change rate

实际负荷变化量 $\Delta\%P_e$ (P_e 为机组额定负荷值) 与变化时间 Δt (Δt 为从负荷指令开始变化至实际负荷变化达到新的目标值所经历的时间) 的比值。

3.14

负荷响应纯迟延时间 dead time of load response

负荷扰动试验开始后实际负荷变化的迟延时间, 即从负荷指令开始变化的时刻到实际负荷发生与指令同向连续变化的时刻所经历的时间。

3.15

快速甩负荷 fast cutback

当汽轮机或发电机组甩负荷时, 使锅炉不停运的一种控制措施。根据 FCB 后机组的不同运行要求, 可分为机组带厂用电小网运行或停机不停炉两种不同的运行方式。

3.16

一次调频 **primary frequency control; PFC**

机组协调控制系统的一种功能,通过有差调节方式响应电网频率调节的要求。一次调频,是指电网的频率一旦偏离额定值时,电网中机组的控制系统自动控制机组有功功率的增减,限制电网频率变化,使电网频率维持稳定的自动控制过程。

3.17

烟气排放连续监测系统 **continuous emission monitoring system; CEMS**

对火电厂排放的烟气颗粒物、气态污染物(含 SO_2 、 NO_x 等)和有关排气参数(含氧量等)进行连续、实时跟踪监测的系统。

3.18

烟气脱硫控制系统 **flue gas desulfurization control system**

对于锅炉烟气脱硫系统(通常包括吸收剂制备系统、烟气及二氧化硫吸收系统、副产品处置系统等)进行控制的控制系统总称。

3.19

烟气脱硝控制系统 **flue gas de- NO_x control system**

对于锅炉烟气脱硝系统进行控制的控制系统总称。如对 SCR(选择性催化还原)脱硝控制系统而言,通常包括对脱硝剂输运系统、烟气脱硝处理系统、脱硝公用系统等控制。

4 验收测试内容及测试条件

4.1 各阶段验收测试的主要内容

4.1.1 MCS 在完成调整试验工作后,调试方应按附录 A.1~附录 A.4 的要求对系统进行扰动试验,以及按第 5 章的要求对系统进行功能测试。测试结果填入附录 B 的表 B.1、表 B.3 和附录 C 的表 C.1 中。

4.1.2 新建机组在进行满负荷连续 168h(72h)试运行期间,以及机组商业移交或技术改造机组正式移交生产前,应提供 MCS 可用率统计运行记录,可用率的统计计算和考核应按第 8 章的要求进行。

4.1.3 在 CCS 完成细调整试验(新建机组首次带上满负荷后的调整试验)后,应按 6.1 的要求进行 CCS 负荷变动试验。

4.1.4 在新建机组商业移交或技术改造机组正式移交生产前,应按 6.3~6.5 的要求进行协调控制系统 AGC 负荷跟随试验、RB 试验和一次调频试验。

4.1.5 MCS 在完成 4.1.1~4.1.4 要求的全部试验之后,还应按第 7 章的要求提供试验报告,按第 8 章的要求提供 MCS 可用率统计运行记录。在机组商业移交或正式移交生产前,验收方可决定对 MCS 的全部项目或抽查部分项目进行最终验收测试。最终验收测试应按第 5 章、第 6 章的要求进行。

4.2 最终验收测试应具备的条件

4.2.1 与 MCS 有关的主、辅设备可控且有调节裕量,机组负荷 $50\%\sim 100\%P_0$ 能正常变动。

4.2.2 实现 MCS 的分散控制系统(DCS)已符合 DL/T 659 的要求。

4.2.3 与 MCS 相关的热工自动化现场设备完好,安装和调试质量符合 DL/T 5190.4 的要求。

4.2.4 与 MCS 自动化设备相关的电源、气源、接地、环境条件安装和调试质量符合 DL/T 5190.4 的要求。

4.2.5 汽轮机控制系统已完成功能验收测试,符合 DL/T 656 的要求。

4.2.6 MCS 已完成 4.1.1~4.1.4 要求的全部试验,与验收测试有关的控制系统已投入自动。

4.2.7 应记录机组负荷指令、机组实际负荷、主蒸汽压力设定值、主蒸汽压力、烟气含氧量、炉膛压力、主蒸汽温度、再热蒸汽温度、中间点温度(焓值)、汽包水位、总风量等参数,并应准确可用。

4.2.8 记录设备分辨率应能满足对其控制系统品质指标评价的要求。

4.2.9 与 MCS 有关的设计、制造、安装、调试、运行及故障处理等资料应齐全、有效,技术文档应满足第 7 章的要求。

4.2.10 验收测试应由测试单位编写测试方案,由运行单位编写操作方案。

5 功能测试

5.1 MCS 的功能设计应满足 GB 50660—2011 中 15.8 及 DL/T 1083 的要求。功能测试主要应包括控制方式无扰动切换、偏差报警功能、方向性闭锁保护功能、超驰控制保护功能的测试。

5.2 控制方式无扰动切换试验主要应包含下列内容:

- a) AGC 远方/就地控制方式的无扰动切换。
- b) CCS 的协调控制方式、锅炉跟随控制方式、汽轮机跟随控制等方式之间的无扰动切换。
- c) MCS 所有手动/自动方式之间的无扰动切换。
- d) 给水控制等系统单冲量/三冲量控制方式之间的无扰动切换。
- e) 其他要求控制系统实现的无扰动切换。
- f) 在满足切换条件的情况下, MCS 在各种控制方式之间进行切换时,不应产生对控制系统任何扰动。

5.3 MCS 应包含下列偏差报警:

- a) 测量信号偏差报警。
- b) 执行器偏差报警。
- c) 调节器偏差报警。
- d) 其他要求控制系统实现的偏差报警。
- e) 检查偏差报警值是否正确设定,报警输出的开关量信号应能正确送至相应的报警显示和控制保护回路。

5.4 MCS 应包含下列方向性闭锁保护功能:

- a) CCS 负荷指令增减闭锁。
- b) 炉膛压力高/低送引风机动叶调节开/关闭锁。
- c) 燃料量和风量交叉限制。
- d) 其他要求控制系统实现的方向性闭锁。

5.5 MCS 应包含下列超驰控制保护功能:

- a) CCS 负荷指令迫增/迫降。
- b) 炉膛压力防内爆超驰保护控制。
- c) 机组启停时磨煤机超驰控制。
- d) 其他要求控制系统实现的超驰控制保护功能。

5.6 进行最终验收的功能测试时可根据情况进行抽测,将功能测试结果填入附录 B 的表 B.1 中。

6 性能测试

6.1 CCS 负荷变动试验

6.1.1 测试条件见 4.2。

6.1.2 调整机组负荷到试验负荷段,稳定机组运行工况;在机炉协调控制方式下,负荷指令以煤粉锅炉机组不低于 $1.5\%P_e/\text{min}$ 、循环流化床锅炉机组不低于 $1\%P_e/\text{min}$ 、燃机机组不低于 $3\%P_e/\text{min}$ 的变化速率, $\Delta P=15\%P_e$ 的负荷变动量,在非磨组启停断点负荷段内进行单方向变动试验;待机组负荷及各主要参数稳定运行 10min 后,再进行反方向的变动试验;增减负荷试验各进行 1 次~3 次,可选择其中一次

的试验数据作为验收测试结果,填入附录 B 的表 B.2 中。

6.1.3 当机组运行工况稳定后,应分别记录机组各主要参数变化曲线(试验时间不少于 1h,也可利用分散控制系统的历史数据),将各参数波动量最大偏差数据填入附录 B 的表 B.2 中。

6.1.4 负荷变动试验时,CCS 及各控制子系统被调参数的动态、稳态品质指标应满足附录 A 中表 A.1 的要求。

6.2 MCS 性能测试

6.2.1 最终验收测试时应由考核方根据被考核方提供的调试报告情况,确定对 MCS 全部重新进行测试,或只进行部分抽查测试。

6.2.2 在部分抽测的情况下,可结合 CCS 负荷变动试验和 AGC 负荷跟随试验对外扰下 MCS 的调节品质进行验证;必要时应增加对 MCS 的定值扰动测试,将测试结果填入附录 B 的表 B.3 中。

6.2.3 MCS 的性能测试应满足附录 A 的要求。

6.3 AGC 负荷跟随试验

6.3.1 测试应符合下列条件:

- a) CCS 负荷变动试验验证合格。
- b) 试验期间宜解除机组一次调频功能,当系统无法解除时,应采取措施避免一次调频造成的干扰。
- c) 应满足 DL/T 1210 的测试条件要求。
- d) 其他要求见 4.2。

6.3.2 调整机组负荷到试验负荷段,稳定机组运行工况,机炉协调控制投入 AGC 方式;测试指令从调度中心或 CCS 负荷给定回路以煤粉锅炉机组不低于 $1.5\%P_g/\text{min}$ 、循环流化床锅炉机组不低于 $1\%P_g/\text{min}$ 、燃机机组不低于 $3\%P_g/\text{min}$ 的变化速率, $\Delta P=10\%P_g$ 的负荷变动量,在非磨组启停断点负荷段内采取斜坡方式增加(或减少),斜坡指令到达目标值并稳定 2min 后,再进行反方向的变动试验;负荷变动试验各进行 1 次~3 次,可选择其中一次的试验数据作为验收测试结果,填入附录 B 的表 B.2 中。

6.3.3 AGC 负荷跟随试验时,CCS 及各控制子系统被调参数的动态、稳态品质指标应满足附录 A 中表 A.1 的要求。

6.4 RB 试验

6.4.1 新建机组在最终验收测试前、与 RB 功能相关的组态或设备变更或改造后,以及机组大修后应进行 RB 试验。RB 功能的设置与试验应满足 DL/T 1213 的要求。

6.4.2 RB 功能模拟试验的方法和要求见附录 A 中 A.5.4.1 RB 功能模拟试验。

6.4.3 RB 动态试验的方法和要求见附录 A 中 A.5.4.2 RB 动态试验。

6.5 一次调频功能试验

6.5.1 新建机组、机组大修或机组控制系统发生重大改变后,在最终验收测试前应进行一次调频功能试验。

6.5.2 一次调频功能试验的方法和要求见附录 A 中 A.5.5 一次调频功能试验。

7 文档验收

7.1 最终验收测试时,应提供 MCS 的调试报告。报告内容应包括主辅设备概述、MCS 简要说明、调整试验经过、主要修改记录、控制系统对象特性(必要时)、调节阀的流量特性(必要时)、系统中主要整定值、表明调节系统品质指标的内外扰动下的过渡过程曲线、结论和存在问题等。

7.2 最终验收测试时,应提供 CCS 负荷变动试验报告。报告内容应包括 CCS 简要说明、负荷变动试验

过程的描述、主要修改记录、系统中主要整定值、负荷变动试验下的过渡过程曲线、结论和存在问题等。

7.3 最终验收测试时,应提供协调控制系统 AGC 负荷跟随试验报告。报告内容应包括 CCS 的 AGC 功能简要说明、AGC 负荷跟随试验过程的描述、主要修改记录、系统中主要整定值、AGC 负荷跟随试验下的过渡过程曲线、结论和存在问题等。

7.4 最终验收测试时,应提供协调控制系统 RB 试验报告。报告内容应包括机组 RB 功能的简要说明、RB 试验过程的描述、主要修改记录、RB 试验曲线、结论和存在问题等。

7.5 最终验收测试时,应提供一次调频功能试验报告。报告内容应包括机组一次调频功能的简要说明、一次调频功能试验过程的描述、主要修改记录、一次调频功能试验曲线、结论和存在问题等。

7.6 新建机组在完成满负荷连续 168h (72h) 试运行后,应提供 168h (72h) 试运行期间 MCS 可用率统计运行记录和机组主要参数全过程曲线记录;最终验收测试时,应提供机组 168h (72h) 后试生产期间 MCS 可用率统计运行记录和抽测的参数曲线记录;MCS 可用率的统计计算和考核按第 8 章的要求进行。

8 可用率考核

8.1 MCS 投入试运行起,开始考核其可用率。单元机组 MCS 的统计工作宜借助编入 DCS 的程序自动进行统计。考核统计时间:机组验收测试考核统计时间不得少于 60d。

8.2 MCS 的“统计套数”(n_i)可按下列原则确定:

- a) 应有特定的被调量及由 PID (或其他) 调节器形成的闭环调节回路。
- b) 协调控制系统 ($n_i=4$): AGC 方式、协调方式、锅炉跟随、汽轮机跟随。
- c) 给水主控系统应按两套计算 ($n_i=2$),其余控制系统应单独统计 ($n_i=1$),控制方式如下:
 - 1) 如给水控制系统的给水差压控制、最小流量再循环控制;
 - 2) 燃烧控制系统的炉膛压力控制、送风机动叶风量控制 (或二次风挡板风量控制)、风箱与炉膛差压控制 (或二次风压控制)、氧量控制、燃料风控制、燃尽风控制、一次风压控制;
 - 3) 制粉系统的磨煤机出口温度控制、给煤量控制、直吹式制粉系统一次风量控制、中储式制粉系统钢球磨煤机入口风压控制;
 - 4) 过热汽温控制的各级减温水控制;
 - 5) 再热汽温的摆动燃烧器/尾部烟道挡板控制、减温水控制;
 - 6) 辅助设备自动控制系统的除氧器水位、除氧器压力、加热器水位、凝汽器水位、轴封压力、凝结水再循环流量控制、旁路压力控制、旁路温度控制,以及燃油压力、辅助蒸汽温度、汽轮机润滑油温度、发电机定冷水温度、发电机氢温、燃机调压站控制、燃机性能加热器温度控制、脱硝、脱硫、化水、吹灰等其他单回路控制系统。

8.3 单套 MCS 的可用率 A_i 计算应按式 (1) 进行:

$$A_i = (t_{ai}/t_i) \times 100\% \quad (1)$$

式中:

t_{ai} ——被统计的第 i 套系统达到附录 A 的模拟量控制系统品质指标后累计投入自动运行的时间, h;

t_i ——机组运行在该系统应投自动的负荷范围内时间, h。

8.4 MCS 的总可用率 A 计算应按式 (2) 进行:

$$A = \left(\sum_{i=1}^n n_i A_i / N \right) \times 100\% \quad (2)$$

式中:

n_i ——被统计的第 i 套系统的统计套数;

N ——机组 MCS 总套数。

MCS 可用率考核统计遵循附录 C。

- 8.5 式 (2) 中 MCS 的总可用率 A 应满足各个阶段的验收要求。
- 8.6 满负荷连续 168h (72h) 试运行期间: 式 (2) 中的 A 应不少于 90%。
- 8.7 最终验收测试前: 式 (2) 中 A 应不少于 90%。
- 8.8 单元机组 (燃机、锅炉、汽轮机及辅助系统) 宜与全厂公用辅助系统和辅助车间分别统计和考核 MCS 的可用率。
- 8.9 可用率统计数据填入附录 C 的表 C.1 中。

附录 A
(规范性附录)
模拟量控制系统品质指标

A.1 给水控制系统的验收测试

A.1.1 给水控制系统组成

A.1.1.1 汽包锅炉的给水控制系统由启动给水泵出口旁路调节阀、电动调速给水泵和汽动调速给水泵(或者由给水泵出口调节阀、定速给水泵)组成单冲量/三冲量给水控制系统和给水泵最小流量再循环控制系统。

A.1.1.2 直流锅炉的给水控制系统在锅炉启动阶段,由给水控制系统配合锅炉启动系统共同完成对锅炉的上水与分离器水位调节,给水泵的出口压力由出口调节阀控制,正常负荷运行时,由给水泵完成锅炉给水的控制,给水泵再循环控制系统控制给水泵进口最小流量。

A.1.2 汽包及分离器水箱水位的测量

A.1.2.1 汽包及分离器水箱水位应分别取自 3 个全程独立的测量信号,进行必要的参数修正后,三选中值获得。

A.1.2.2 采用差压式水位测量装置的应根据平衡容器的安装尺寸正确设置参数。

A.1.3 对象特性试验(必要时进行)

A.1.3.1 给水调节阀特性试验

新投入使用或检修后的调节阀(给水泵出口调节阀、启动给水泵出口旁路调节阀)应满足以下质量要求:

- a) 给水泵出口调节阀全开时的最大流量应满足单台给水泵最大负荷要求,并有 10% 的裕量;启动给水泵出口旁路调节阀全开时的最大流量应满足 30% 机组负荷下的流量要求,并有 10% 的裕量。
- b) 调节阀全关时,漏流量应小于调节阀最大流量的 10%。
- c) 调节阀的行程误差不大于调节阀最大流量的 3%。
- d) 调节阀的死行程应小于全行程的 5%。

A.1.3.2 电动液偶调速给水泵特性试验

新投入使用或检修后的电动液偶调速给水泵在不同转速(调速泵勺管位置开度)下的给水出口压力和给水流量关系特性应满足以下质量要求:

- a) 液压联轴节的调速范围应达到 25%~100%。
- b) 液压调速泵勺管位置开度和反馈电压应为线性关系,其行程误差应不大于 2%。
- c) 在调速范围内,泵出口给水压力和给水流量特性应符合制造厂的技术要求。

A.1.3.3 汽动调速给水泵特性试验

新投入使用或检修后的汽动调速给水泵在不同转速下的给水泵出口给水压力和给水流量关系特性应满足以下质量要求:

- a) 调节范围应按给水泵汽轮机确定的调速范围设定为 0%~100%。
- b) 在调速范围内, 泵出口给水压力和给水流量特性应符合制造厂的技术要求。

A.1.3.4 给水泵最小流量再循环控制阀特性试验

新投入使用或检修后的给水泵最小流量再循环控制阀应满足以下质量要求:

- a) 再循环控制流量应高于给水泵最小设计流量, 并留有足够的裕量。
- b) 再循环阀宜有在 15s 内开阀到全开开度的能力。
- c) 当自动调节时再循环阀不应在 10%以下小开度长期运行。

A.1.4 给水控制系统的品质指标

- a) 汽包锅炉给水控制稳态品质指标: $\pm 25\text{mm}$; 控制系统的执行机构不应频繁动作。
- b) 汽包水位定值扰动 (扰动量为 $\pm 60\text{mm}$): 过渡过程衰减率 $\psi=0.75\sim 0.9$; 稳定时间小于 5min。
- c) 机组启停过程中, 汽包水位控制的动态品质指标: 单冲量方式运行时, 汽包水位允许动态偏差为 $\pm 80\text{mm}$; 三冲量给水控制运行时, 汽包水位允许动态偏差为 $\pm 60\text{mm}$; 见表 A.1。
- d) 直流锅炉给水流量控制及汽包水位串级内回路的给水流量控制, 过渡过程衰减率 $\psi=0.75\sim 0.9$, 稳定时间小于 1min。
- e) 机炉协调控制方式下的动态、稳态品质指标见表 A.1。

表 A.1 各类型机组主要被调参数的动态、稳态品质指标

指标类型	负荷变动试验及 AGC 负荷跟随试验动态品质指标			稳态品质指标
机组类型	煤粉锅炉机组	循环流化床机组	燃机机组	各类型机组
负荷指令变化速率 $\%P_e/\text{min}$	≥ 1.5	≥ 1	≥ 3	0
实际负荷变化速率 $\%P_e/\text{min}$	≥ 1.2	≥ 0.8	≥ 2.5	—
负荷响应纯迟延时间 s	60	60	30	—
负荷偏差 $\%P_e$	± 2	± 2	± 1.5	± 1
主蒸汽压力偏差 $\%p_0$	± 3	± 3	± 3	± 2
主蒸汽温度 $^{\circ}\text{C}$	± 8	± 8	± 8	± 3
再热蒸汽温度 $^{\circ}\text{C}$	± 10	± 10	± 10	± 4
中间点温度 (直流炉) $^{\circ}\text{C}$	± 10	—	—	± 5
床温 (循环流化床) $^{\circ}\text{C}$	—	± 30	—	± 15
汽包水位 (汽包炉) mm	± 60	± 60	± 60	± 25
炉膛压力 Pa	± 200	—	—	± 100

表 A.1 (续)

指标类型	负荷变动试验及 AGC 负荷跟随试验动态品质指标			稳态品质指标
机组类型	煤粉锅炉机组	循环流化床机组	燃机机组	各类型机组
烟气含氧量 %	—	—	—	±0.5
注： p_0 为机组额定主蒸汽压力值。				

A.2 汽温自动控制系统的验收测试

汽温自动控制系统包括过热蒸汽温度和再热蒸汽温度自动控制系统。

A.2.1 对象特性试验（必要时进行）

A.2.1.1 过热蒸汽温度动态特性试验

试验内容主要包括各级减温水扰动下相应的出口蒸汽温度及导前汽温动态特性；试验宜分别在高、中、低三种负荷下进行。

置减温控制于手动控制方式，在机组运行工况稳定的情况下，手动一次关小（阶跃）减温水调节阀开度，幅度以减小（开大）10%减温水流量为宜，记录主蒸汽温度变化情况，待主蒸汽温度上升（下降）并稳定在新值时结束试验。

A.2.1.2 再热蒸汽温度动态特性试验

试验内容主要包括摆动燃烧器倾角或尾部烟道控制挡板摆动下的再热蒸汽温度动态特性、再热器减温水扰动下的再热蒸汽温度动态特性；试验宜分别在高、中、低三种负荷下进行。

A.2.1.3 减温水调节阀特性试验

新投入使用或检修后的调节阀应满足以下质量要求：

- 调节阀的最大流量应满足锅炉最大负荷要求，并约有 10% 的裕量。
- 调节阀的漏流量应小于其最大流量的 10%。
- 调节阀应有足够的线性工作段，调节阀的行程误差应小于最大流量的 3%。
- 调节阀的死行程应小于全行程的 5%。

在机组运行工况稳定的情况下，手动单方向间断地开大减温水调节阀，每次以 10% 幅度为宜，直至调节阀全开；然后再以同样方式关小，直至全关；每次减小或开大操作都必须待流量稳定后进行。

试验中，若出现减温水流量过大可能使蒸汽温度低于允许范围时，为了保证机组的安全，应改为在不同运行工况下按上述方法分段进行特性试验。为了防止过热蒸汽温度超越允许范围，试验过程中应加强监视，发现蒸汽温度有超限严重或失控趋势时，应立即中止试验，并将调节阀开度迅速恢复至试验前位置，直至参数稳定。

A.2.1.4 摆动燃烧器特性试验

摆动燃烧器应满足热态下摆动燃烧器机械部分动作灵活、无卡涩的质量要求。

A.2.1.5 尾部烟道控制挡板摆动特性试验

锅炉尾部烟道控制挡板在热态下要求其机械部分动作灵活，无卡涩。

A.2.2 汽温控制系统的品质指标 (AGC 调节范围内)

- a) 稳态品质指标: 过热汽温度为 $\pm 3^{\circ}\text{C}$; 再热蒸汽温度为 $\pm 4^{\circ}\text{C}$; 执行器不应频繁动作。
- b) 过热汽温和再热汽温给定值改变 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时, 过渡过程衰减率 $\psi=0.75\sim 0.9$; 稳定时间为过热蒸汽温度小于 15min, 再热蒸汽温度小于 30min。
- c) 机炉协调控制方式下的动态、稳态品质指标见表 A.1。

A.3 燃烧自动控制系统的验收测试

A.3.1 燃烧自动控制系统主要内容

燃烧自动控制系统主要包括燃料量控制及热值 (BTU) 校正、给煤量控制、风量氧量控制 (送风机动叶风量控制/二次风挡板风量控制、风箱与炉膛差压控制/二次风压控制、氧量校正、燃料风控制、燃尽风控制)、炉膛压力控制、一次风压控制、磨煤机控制 (直吹式制粉系统一次风量控制/中储式制粉系统钢球磨煤机入口风压控制、出口温度控制、分离器转速控制、液压加载力控制) 等自动控制系统。

A.3.2 对象特性试验 (必要时进行)

A.3.2.1 一次风挡板风量特性试验

一次风挡板风量特性试验宜在磨煤机系统冷态通风试验中进行。手动单方向间断地开大磨煤机一次风流量调节挡板, 每次以 10% 幅度为宜, 直至调节挡板全开; 然后再以同样方式关小, 直至全关; 每次减小或开大操作都必须待流量稳定后进行。

在磨煤机运行工况下, 宜选择在磨煤机启动时暖磨、停运时清磨阶段进行; 其他情况, 可以按上述方法分段进行开度-流量的检查, 但不宜进行全程一次风流量特性试验。

A.3.2.2 中储式制粉系统给煤/粉量调节特性试验

对于中储式制粉系统, 必要时在投入前进行给煤/粉量调节特性试验。应满足以下要求:

- a) 给粉机最高转速下的给粉量应能满足锅炉最大负荷的要求, 并略有裕量。
- b) 在给粉机控制信号可变范围的 1/2 处, 各台给粉机的转速偏差应小于 50r/min。
- c) 锅炉最大负荷下的给粉机转速与锅炉最低负荷下的给粉机转速之比值应不小于 3。

A.3.3 炉膛压力控制系统品质指标 (AGC 调节范围内)

- a) 稳态品质指标: $\pm 100\text{Pa}$ 。
- b) 炉膛压力定值扰动 (扰动量为 $\pm 200\text{Pa}$): 过渡过程衰减率 $\psi=0.9\sim 0.95$; 稳定时间小于 3min。
- c) 机炉协调控制方式下的动态、稳态品质指标见表 A.1。

A.3.4 风量氧量控制系统品质指标 (AGC 调节范围内)

- a) 氧量稳态品质指标: $\pm 1\%$ 。
- b) 燃烧率指令增加时, 风量应能在 30s 内变化。
- c) 二次风箱和炉膛差压定值扰动 (扰动量为 $\pm 100\text{Pa}$): 过渡过程衰减率 $\psi=0.9\sim 0.95$; 稳定时间小于 60s。
- d) 二次风总风量定值扰动 (扰动量为 $\pm 100\text{t/h}$): 过渡过程衰减率 $\psi=0.9\sim 0.95$; 稳定时间小于 60s。

A.3.5 一次风压控制系统品质指标 (AGC 调节范围)

- a) 稳态品质指标: $\pm 100\text{Pa}$ 。

- b) 一次风压给定值改变 500Pa 时, 过渡过程衰减率 $\psi=0.9\sim0.95$; 稳定时间为小于 60s。

A.3.6 直吹式制粉系统磨煤机控制系统品质指标 (AGC 调节范围)

- a) 稳态品质指标: 磨煤机入口一次风流量为 $\pm 5\%$; 磨煤机出口温度为 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 。
 - b) 一次风量给定值改变 10% 时, 过渡过程衰减率 $\psi=0.9\sim0.95$, 稳定时间小于 20s。
 - c) 磨煤机出口温度给定值改变 3°C 时, 过渡过程衰减率 $\psi=0.9\sim0.95$, 稳定时间小于 5min。
- 中储式制粉系统也可参照本条要求。

A.3.7 钢球磨煤机入口风压控制系统 (中储式制粉系统) 品质指标

- a) 稳态品质指标: $\pm 40\text{Pa}$ 。
- b) 磨煤机入口风压给定值改变 50Pa 时, 过渡过程衰减率 $\psi=0.9\sim0.95$, 稳定时间小于 20s。
- c) 磨煤机入口高、低温风挡板开度改变 10% 时, 控制系统应能在 30s 内消除扰动。

A.4 辅助设备自动控制系统的验收测试

A.4.1 辅助设备自动控制系统主要内容

辅助设备自动控制系统主要包括除氧器水位及压力、加热器水位、凝汽器水位、轴封压力、凝结水再循环流量、旁路压力、旁路温度、其他辅助设备等的自动控制系统。其中其他辅助设备自动控制系统主要有以下单回路自动控制系统: 空气预热器冷端温度控制、凝结水再循环流量控制、燃油压力控制、辅助蒸汽温度控制、暖风器疏水箱水位控制、闭式水压力控制、闭式水温度控制、闭式水膨胀水箱水位控制、汽轮机润滑油温控制、发电机定冷水温度控制、发电机氢温控制、发电机密封油温控制、电泵工作油温控制、汽泵润滑油温控制、直接空冷机组汽机背压控制、燃机调压站控制、燃机性能加热器温度控制及脱硝、脱硫、化水、吹灰等相关自动控制系统。

A.4.2 除氧器水位控制系统品质指标 (AGC 调节范围)

- a) 稳态品质指标: $\pm 20\text{mm}$ 。
- b) 当水位给定值改变 60mm 时, 过渡过程衰减率 $\psi=0.75\sim0.9$, 稳定时间小于 10min。

A.4.3 加热器水位控制系统品质指标 (AGC 调节范围)

- a) 稳态品质指标: $\pm 20\text{mm}$ (立式)、 $\pm 10\text{mm}$ (卧式)。
- b) 定值扰动 (立式 50mm、卧式 30mm) 时, 过渡过程衰减率 $\psi=0.75\sim0.9$ 。

A.4.4 凝汽器水位控制系统品质指标 (AGC 调节范围)

- a) 稳态品质指标: $\pm 20\text{mm}$ 。
- b) 凝汽器水位给定值改变 50mm 时, 上升方向过渡过程衰减率 $\psi=0.75\sim0.9$, 稳定时间小于 8min。

A.4.5 脱硫系统浆液塔 pH 值控制系统品质指标 (AGC 调节范围)

- a) 稳态品质指标: ± 0.3 。
- b) 浆液塔 pH 值定值改变 0.5 时, 过渡过程衰减率 $\psi=0.75\sim0.95$, 稳定时间小于 30min。

A.4.6 脱硝系统出口 NO_x 值控制系统品质指标 (增加脱硝效率指标) (AGC 调节范围)

- a) 稳态品质指标: $\pm 10\text{mg}/\text{m}^3$ 。
- b) 脱硝系统出口 NO_x 值定值改变 $20\text{mg}/\text{m}^3$ 时, 过渡过程衰减率 $\psi=0.75\sim0.95$, 稳定时间小于 15min。

A.4.7 其他辅助设备自动控制系统品质指标 (AGC 调节范围)

- a) 稳态品质指标: 给定值附近, 不振荡。
- b) 定值扰动时, 控制系统衰减率 $\psi=0.75\sim0.95$ 。

A.5 CCS 的验收测试

A.5.1 CCS 主要内容

CCS 主要内容包括机组负荷指令设定、机炉主控、压力设定、频率校正、RB 等控制回路。

A.5.2 负荷动态响应特性 (必要时进行)

机组负荷对汽轮机调门的响应特性试验: 保持锅炉燃烧率 (燃料量和风量) 不变, 给水流量稳定 (直流锅炉) 阶跃 (快速) 改变汽轮机调门开度, 记录负荷和主蒸汽压力的变化。

机组负荷对燃烧率的响应特性试验应包括定压和滑压两种运行方式。定压运行方式负荷动态响应特性试验应分别在 60%、90% 负荷段进行, 为了保持主蒸汽压力相对稳定, 应投入主蒸汽压力自动; 滑压运行方式负荷动态响应特性试验应在 70%~80% 负荷段进行, 保持汽轮机调门开度不变; 分别按上述要求进行锅炉燃烧率阶跃扰动, 记录试验曲线。

A.5.3 CCS 的品质指标

A.5.3.1 负荷变动试验

在机炉协调控制方式下, AGC 调节范围内, 负荷指令以预定的变化速率、负荷变动量为 $\Delta P=15\%P_e$, 分别进行负荷单向变动试验; 机组各主要被调参数的动态、稳态品质指标见表 A.1。

A.5.3.2 AGC 负荷跟随试验

在 AGC 控制方式下, 负荷指令以预定的变化速率、负荷变动量为 $\Delta P=10\%P_e$ 的斜坡方式连续增、减 (或减、增) 各一次的双向变动试验; 机组各主要被调参数的动态、稳态品质指标见表 A.1。

A.5.4 RB 试验

A.5.4.1 RB 功能模拟试验

A.5.4.1.1 在机组停运的情况下, 按设计的功能依次模拟 RB 产生的条件, 进行 RB 功能模拟试验。

A.5.4.1.2 试验中, 主要应检查以下内容:

- a) 不同原因的 RB 发生时, DI 通道应正确、快速动作。
- b) 负荷运算回路、负荷指令变化速率等 RB 控制参数已正确设定。
- c) CCS 输出至 FSSS 的通道应正确动作。
- d) FSSS 跳磨煤机或给粉机的控制逻辑正确, 满足 DL/T 655 的要求。
- e) CCS 宜切换到汽轮机跟随 (TF) 方式运行。
- f) RB 时, 主汽压采用的定压/滑压方式符合设计要求, 宜切换到滑压方式运行。
- g) 滑压运行方式时, 滑压的速率参数设定应根据不同 RB 的特点正确设定。

A.5.4.2 RB 动态试验

A.5.4.2.1 进行 RB 动态试验应具备以下条件:

- a) CCS 及控制子系统已正常投用, 并完成相应的定值扰动和负荷变动试验, 调节品质合格。
- b) CCS 在 TF 方式下的主蒸汽压力定值扰动试验已完成, 调节品质符合要求。参考指标: 在 0.6MPa~0.8MPa 定值扰动下, 过渡过程衰减率 $\psi=0.75\sim0.9$, 稳定时间小于 6min。
- c) RB 功能模拟试验已完成, 其结果满足要求。
- d) 机组保护系统已正常投入。

A.5.4.2.2 在进行正式的 RB 动态试验之前, 宜进行预备性试验, 以确认 CCS 在 RB 工况下能正确进行控制, 并调整不同 RB 工况下的目标负荷、降速率的设置。

A.5.4.2.3 在 90% P_e 以上负荷工况下进行 RB 正式试验, 以考核机组和 CCS 在 RB 工况下的控制能力。按设计的 RB 功能分项进行动态试验, 如分别进行磨煤机、送风机、引风机、一次风机、炉水循环泵、给水泵、凝结水泵 (50%容量)、脱硫系统相关设备等 RB 试验, 记录各被调量的动态曲线。

A.5.4.3 RB 试验的品质指标

- a) 机组进行 RB 功能分项试验时, 未进行人工干预, 其参数波动范围不危及机组安全和不引起机组保护动作跳闸, 即认为该项 RB 试验合格。
- b) RB 试验项目宜按设计的功能全部进行, 也可按用户要求根据现场条件选择部分项目, 但 RB 功能模拟试验应全部进行。

A.5.5 一次调频功能试验

A.5.5.1 一次调频功能试验前准备

试验前, 主要应检查:

- a) 汽轮机转速和电网频率信号正常。
- b) 转速不等率和调频死区合适。
- c) 调频负荷最大幅度限制合适。
- d) 一次调频的负荷调节分量不设速率限制。
- e) 当调频分量过大, 影响机组安全时的相应措施 (如主蒸汽压力、主蒸汽温度、中间点温度等参数过高后的闭锁一次调频减负荷)。

A.5.5.2 一次调频功能试验

A.5.5.2.1 进行一次调频功能试验应具备以下条件:

- a) CCS 及控制子系统已正常投用, 并完成相应的定值扰动和负荷变动试验, 调节品质合格。
- b) 试验前检查工作完成, 其结果满足要求。

A.5.5.2.2 选择合适的低、中、高负荷点进行一次调频功能试验以考核机组在不同负荷点的一次调频控制能力。按设计的一次调频功能要求, 宜对转速偏差在死区内附近、在死区外附近、 $\pm 3\text{r/min}$ 、 $\pm 5\text{r/min}$ 、 $\pm 7\text{r/min}$ 、 $\pm 9\text{r/min}$ 依次进行试验, 记录试验数据 [如功率、调门反馈、主蒸汽压力、调节级压力 (若有)、转速 (频) 差等], 在大偏差工况试验过程中, 一次调频能力的控制首先应保证机组的安全性。

A.5.5.3 一次调频功能试验的品质指标

- a) 机组进行一次调频功能分项试验时, 其参数波动范围应不危及机组及设备安全和不引起机组保护动作跳闸。
- b) 一次调频功能试验项目宜按设计的功能全部进行, 动作的负荷积分面积应大于设计需要的负荷积分面积的 60% 以上, 时间以 1min 为宜。

附录 B

(规范性附录)

模拟量控制系统验收测试项目及测试结果

B.1 机炉协调系统功能测试结果见表 B.1。

表 B.1 机炉协调系统功能测试结果

测试项目		功能测试正常的 被抽查系统或回路	功能测试有缺陷的 被抽查系统或回路
控制方式 无扰切换	AGC 远方/就地		
	协调/锅炉跟随/汽轮机跟随		
	控制系统手动/自动		
	给水控制系统单冲量/三冲量		
	其他无扰切换		
撤为手动 条件	信号坏质量		
	测量信号偏差越限		
	执行器偏差越限		
	调节偏差越限		
方向性 闭锁保护	CCS 负荷指令增/减闭锁		
	炉膛压力高/低时 送引风机动叶调节开/关闭锁		
	燃料量和风量交叉限制		
	燃料量和水量交叉限制		
超驰控制 保护	CCS 负荷指令迫增/迫降		
	炉膛压力防内爆超驰保护控制		
	机组启停时磨煤机超驰控制		
	其他超驰控制保护功能		

B.2 机炉协调系统性能测试结果见表 B.2。

表 B.2 机炉协调系统性能测试结果

指标类型		负荷变动试验及 AGC 负荷跟随试验动态品质指标			稳态品质指标
机组类型		煤粉锅炉机组	循环流化床机组	燃机机组	所有机组类型
负荷指令变化速率 $\%P_e/\text{min}$		1.5	1	3	0
实际负荷变化速率 $\%P_e/\text{min}$	允许值	≥ 1.2	≥ 0.8	≥ 2.5	—
	实测值				—
负荷响应纯迟延时间 s	允许值	60	60	30	—
	实测值				—

表 B.2 (续)

指标类型		负荷变动试验及 AGC 负荷跟随试验动态品质指标			稳态品质指标
机组类型		煤粉锅炉机组	循环流化床机组	燃机机组	所有机组类型
负荷偏差 $\%P_e$	允许值	± 2	± 2	± 1.5	± 1
	实测值				
主蒸汽压力偏差 $\%p_0$	允许值	± 3	± 3	± 3	± 2
	实测值				
主蒸汽温度 $^{\circ}\text{C}$	允许值	± 8	± 8	± 8	± 3
	实测值				
再热蒸汽温度 $^{\circ}\text{C}$	允许值	± 10	± 10	± 10	± 4
	实测值				
中间点温度(直流炉) $^{\circ}\text{C}$	允许值	± 10	—	—	± 5
	实测值	—		—	
床温(循环流化床) $^{\circ}\text{C}$	允许值	—	± 30	—	± 15
	实测值	—		—	
汽包水位 mm	允许值	± 60	± 60	± 60	± 25
	实测值				
炉膛压力 Pa	允许值	± 200	—	—	± 100
	实测值		—	—	
烟气含氧量 %	允许值	—	—	—	± 0.5
	实测值	—	—	—	

B.3 控制子系统性能测试结果见表 B.3。

表 B.3 控制子系统性能测试结果

控制系统	被调量	扰动量	稳定时间		衰减率 ψ	
			允许值	实测值	允许值	实测值
主蒸汽压力控制系统	主蒸汽压力	0.6MPa	<6min		0.75~0.9	
给水控制系统	汽包水位	60mm	<5min		0.75~0.9	
中间点温度控制系统	中间点温度	$\pm 8^{\circ}\text{C}$	<15min		0.75~0.9	
主蒸汽温度控制系统	主蒸汽温度	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	<15min		0.75~0.9	
再热蒸汽温度控制系统	再热蒸汽温度	$\pm 5^{\circ}\text{C}$	<30min		0.75~0.9	
炉膛负压控制系统	炉膛压力	$\pm 200\text{Pa}$	<3min		0.9~0.95	
二次风量控制系统	二次风箱与炉膛差压	$\pm 100\text{Pa}$	<60s		0.9~0.95	
	二次风量	$\pm 100\text{t/h}$	<60s		0.9~0.95	
一次风压控制系统	一次风压力	$\pm 500\text{Pa}$	<60s		0.9~0.95	

表 B.3 (续)

控制系统	被调量	扰动量	稳定时间		衰减率 ψ	
			允许值	实测值	允许值	实测值
磨煤机一次风量控制系统	磨煤机入口一次风流量	$\pm 10\%$	$< 20\text{s}$		$0.9 \sim 0.95$	
磨煤机出口温度控制系统	磨煤机出口温度	$\pm 3^{\circ}\text{C}$	$< 5\text{min}$		$0.9 \sim 0.95$	
磨煤机入口风压控制系统 (中储式制粉系统)	磨煤机入口风压	$\pm 50\text{Pa}$	$< 20\text{s}$		$0.9 \sim 0.95$	
注：定值扰动时，被调参数的超调量应不大于扰动量的 25%。						



附录 C
(规范性附录)

模拟量控制系统投运情况一览表

单元机组（或全厂公用辅助系统）模拟量控制系统投运情况见表 C.1。

表 C.1 单元机组（或全厂公用辅助系统）模拟量控制系统投运情况一览表

序号	系统名称	首次投入 时间	满负荷连续 168h（72h） 试运行前		满负荷连续 168h（72h） 试运行期间		最终验收测试前		单个系统 可用率
			自动投运 时间 t_{ai}	自动应投 时间 t_t	时间：		时间：		
					自动投运 时间 t_{ai}	自动应投 时间 t_t	自动投运 时间 t_{ai}	自动应投 时间 t_t	
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									

总系统可用率: $A = \%$

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
火力发电厂模拟量控制系统
验 收 测 试 规 程

DL/T 657—2015

代替 DL/T 657—2006

*

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>)

北京传奇佳彩数码印刷有限公司印刷

*

2016年6月第一版 2016年6月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 1.25印张 37千字
印数001—200册

*

统一书号 155123·2946 定价 11.00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



中国电力出版社官方微信



掌上电力书屋



155123.2946

上架建议：水利水电工程/水力发电