

ICS 27.100

CCS F 23

团 体 标 准

T/CSEE 0337—2022

火电机组自动控制品质在线评估技术导则

Directives for on-line evaluation of automatic control quality
of thermal power units



2022-12-05 发布

2023-03-01 实施

中国电机工程学会 发布

团 体 标 准
火电机组自动控制品质在线评估技术导则

T/CSEE 0337—2022

*

中国电力出版社出版、印刷、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

*

2023年5月第一版 2023年5月北京第一次印刷
880毫米×1230毫米 16开本 1.25印张 41千字

*

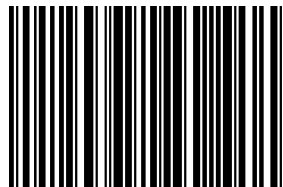
统一书号 155198·4789 定价 32.00元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题，我社营销中心负责退换



中国电机工程学会官方微信



155198.4789

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 数据质量要求	3
5 评估范围	3
5.1 自动投入率统计	3
5.2 控制品质评价	4
5.3 试验数据评价	4
5.4 执行机构特性评价	5
6 评价指标及计算方法	5
6.1 基础回路自动投入率计算	5
6.2 自动投入率分级和分类	5
6.3 加权综合自动投入率计算	5
6.4 确定性指标评价计算	6
6.5 误差积分指标	7
6.6 偏差统计指标评价	7
6.7 随机性评价指标	7
附录 A（资料性） 控制回路分级、分类推荐标准	8
附录 B（规范性） 自动控制调节品质要求	11
附录 C（资料性） 各级、各类自动投入率的计算方法	13
附录 D（资料性） 偏差统计指标计算方法	17

前 言

本文件按照《中国电机工程学会标准管理办法（暂行）》的要求，依据 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。

本文件由中国电机工程学会提出。

本文件由中国电机工程学会热工自动化专业委员会技术归口并解释。

本文件起草单位：华润电力技术研究院有限公司、润电能源科学技术有限公司、西安热工研究院有限公司、南方电网电力科技股份有限公司、国网浙江省电力公司电力科学研究院、浙江浙能技术研究院有限公司、江苏南京化学工业园热电有限公司、华润江苏南热发电责任有限公司、铜山华润电力有限公司、华润广州热电有限公司、匙慧（北京）科技有限公司。

本文件主要起草人：马成龙、陈世和、张政委、朱峰、孙立明、朱亚清、高海东、张含智、陈建华、肖勇、杨旭、聂怀志、金国强、刘运兵、王旻、方青帅、刘磊侠、肖冰、李炳楠、潘凤萍、丁宁、张新胜、蒋月红、余雷、王晓泉、曾广斌、吴振龙、周小川、杨新生。

本文件为首次发布。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电机工程学会标准执行办公室（地址：北京市西城区白广路二条1号，100761，网址：<http://www.csee.org.cn>，邮箱：cseebz@csee.org.cn）。

火电机组自动控制品质在线评估技术导则

1 范围

本文件规定了火电机组自动控制品质在线评估技术的主要评估范围、数据采集与清洗要求、模型要求、控制回路分级和分类要求、评估计算方法等。

本文件适用于额定功率在 300 MW 及以上的燃煤火电机组自动控制品质的在线评估。

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。

DL/T 657—2015 火力发电厂模拟量控制系统验收测试规程

DL/T 701—2022 火力发电厂热工自动化术语

3 术语和定义

DL/T 701—2022 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

基础回路 **basic control loop**

火电厂自动调节系统中能够独立工作形成闭环控制的最小调节系统。

3.2

控制回路分类 **control loop classification**

为方便进行分析和展示，将火电厂控制回路以被调量的物理特性进行分类。

注：相同或者相近的控制回路通常划分为同一类型。

3.3

控制回路分级 **control loop grading**

为方便进行分析和展示，将火电厂控制回路按重要程度划分等级，用于在不同等级下控制回路的权重划分。

3.4

一级回路 **primary control loop**

对火电机组运行的经济性、安全性和环保指标有较大影响的自动控制回路。主要包括协调控制系统（3.18）（包含主蒸汽压力控制）、送风控制系统、引风控制系统、一次风机控制系统、给水控制系统、主蒸汽温度控制系统、再热蒸汽温度控制系统、脱硝喷氨控制系统等。

3.5

二级回路 **secondary control loop**

对机组运行的稳定性或对主要设备的安全性有较大影响的，以及在技术监督要求中有明确要求的自动控制回路。主要包括除氧器水位控制，凝汽器水位控制，高压加热器水位控制，低压加热器水位控制，轴封系统控制（含轴封压力控制、轴封温度控制），磨煤机风温控制，磨煤机风量控制，以及燃料量控制（给煤机控制或容量风控制）等。

3.6

三级回路 third grade control loop

在机组正常运行过程中投运的除一级回路（3.4）、二级回路（3.5）之外的其他自动控制回路。主要包括氢、水、油系统中起冷却作用的控制回路等。

3.7

确定性指标 deterministic indicator

反映传统控制系统对控制性能基本要求的，涉及控制系统动态品质的时域指标。火电厂中确定性指标主要包括衰减比（衰减率）、最大动态偏差（超调量）、残余偏差、稳定时间等动态响应指标。

3.8

误差积分准则 error integration criterion

用系统期望输出与实际输出或主反馈信号之间偏差的某个函数的积分式表示的一种性能指标，是衡量控制系统性能优良度的一种尺度。

3.9

最小方差基准 minimum variance benchmark

在一个稳定的闭环过程中，系统的输出方差与控制器无关的那一部分即为反馈不变量，其方差就是过程在最小方差控制器作用下的输出方差。

3.10

最小方差控制指标 minimum variance control; MVC

一个稳定的闭环过程，最小方差基准（3.9）与该闭环过程中的实际方差之比，用来表示系统调节过程的随机性评价指标。

3.11

偏差统计指标 the performance specification of deviation statistics

在评价周期内，被控量的过程值与设定值的偏差，按正向偏差最大值、负向偏差最大值、正向偏差平均值、负向偏差平均值等指标分别计算。

3.12

动态过程品质指标 the performance specification of dynamic process

在 AGC（3.16）状态或协调状态下，AGC 负荷指令或机组负荷指令在一定时间内不断变化，该变化过程中评价周期内的各主要控制回路的偏差统计指标（3.11）。

3.13

稳态过程品质指标 the performance specification of steady-state process

在 AGC（3.16）状态或协调状态下，AGC 负荷指令或机组负荷指令在一定时间内不变化，该未变化过程中评价周期内的各主要控制回路的偏差统计指标（3.11）。

3.14

时滞性 time delay

执行机构在执行 DCS 发出动作指令的过程中出现时间滞后的现象。

3.15

准确性 accuracy

执行机构动作结束后控制指令与反馈偏差的程度。

3.16

自动发电控制 automatic generation control; AGC

根据电网调度中心负荷指令控制机组发电功率达到规定要求的控制。

[来源：DL/T 701—2022，4.43]

3.17

协调控制 coordination control

当单元机组的负荷指令发生变化时，协调地调整锅炉和汽轮机的负荷指令，使机组的实发功率尽快跟踪负荷指令的变化，同时保证机组的稳定性。

[来源：DL/T 701—2022，4.19]

3.18

协调控制系统 coordination 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。

[来源：DL/T 657—2015，3.2]

3.19

负荷变动试验 load change test

在一定的负荷变化范围内，CCS（3.18）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。

[来源：DL/T 657—2015，3.5]

3.20

试验数据评价 remote test evaluation

对已发生的阶跃扰动过程和负荷变动过程，通过网络传输数据，以非本地方式处理数据，计算结果并评价。

3.21

数据清洗 data cleaning

对数据进行重新审查和校验的过程。

4 数据质量要求

为满足自动调节品质、阶跃扰动试验评价等相关功能的准确计算，参与评估之前的数据，应提前进行数据清洗，以满足参与系统计算的测点数据秒级传输速率的数据质量，以及数据的规范性、完整性、准确性、一致性、时效性、稳定性要求。

数据清洗的过程宜删除重复数据，用插补法或替换法处理缺失值，再进行异常值检验并采用删除、替代等处理方法进行处理。

5 评估范围

5.1 自动投入率统计

5.1.1 基础回路自动投入率

对应单个基础回路，满足规定投入条件下实际投入时间与应投入时间的比值，以百分比形式展示。

每套基础回路均独立统计自动投入率，以自动投入率统计表（见表 1）的形式进行展示，并可以 Excel 表格的形式导出。

表 1 自动投入率统计表

回路名称	电厂	机组	回路等级	回路分类	实际投入时间 h	理论应投入时间 h	自动投入率
协调控制							

表 1（续）

回路名称	电厂	机组	回路等级	回路分类	实际投入时间 h	理论应投入时间 h	自动投入率
主蒸汽压力控制							
.....							

5.1.2 加权综合自动投入率统计

额定容量在 300 MW 及以上的机组，依据各回路的重要程度和调节对象进行分级和分类，根据系统配置相应的权重，分别计算出各级、各类以及机组在线自动投入率，以百分比的形式展示。

应对机组的各级回路、各类回路自动投入率综合结果进行展示，各类回路宜以柱状图的形式进行展示，机组级和各级回路自动投入率宜以饼图的形式进行展示，便于现场技术人员感知自动投入情况。展示信息应包含电厂名称、机组号、回路类别、自动回路套数、基础回路自动投入率等指标，并可查看该类回路的详情。

控制回路分级、分类推荐标准见附录 A。

5.2 控制品质评价

5.2.1 确定性指标评价

确定性指标是控制系统动态品质的时域的指标，包括衰减比（衰减率）、最大动态偏差（超调量）、稳定时间等动态响应指标等，是传统控制系统对控制性能的基本要求。

在系统调节过程中若有满足要求的设定值阶跃，则使用确定性指标评价方法。

5.2.2 稳态过程品质指标评价

在机组处于稳态过程中，通过调节回路设定值与被调量偏差数据分布规律和特征值来量化调节过程的稳态调节品质。稳态过程品质指标包括最大偏差、正向最大偏差、负向最大偏差、平均偏差、交叉点以及中值等。

稳态过程机组主要参数调节品质指标要求按附录 B 中表 B.1 执行。

5.2.3 动态过程品质指标评价

在机组处于动态过程中，通过调节回路设定值与被调量偏差数据分布规律和特征值来量化调节过程的动态调节品质。动态过程品质指标包括动态过程调节速率、最大偏差、正向最大偏差、负向最大偏差、平均偏差、交叉点以及中值等。

动态过程机组主要参数调节品质指标要求按附录 B 中表 B.2 执行。

5.2.4 随机性指标评价

随机性指标是表征控制系统在稳定状态下抗随机干扰的能力。本文件通过采用最小方差控制指标来表示系统调节过程的随机性指标。在被控系统稳定状态下，理论意义上的最小方差与控制回路的控制过程输出方差的比值作为随机性评价指标，指标范围为 0~1。

5.3 试验数据评价

5.3.1 阶跃扰动试验评价

在人为设定的时间段内找到满足 DL/T 657 要求的阶跃过程试验数据，按照确定性指标进行评价，

并将有效的试验结果进行保存及分析。阶跃扰动试验评价指标包括超调量、延迟时间、上升时间、峰值时间、稳定时间、衰减率，以及误差积分准则指标等。

主要控制回路调节品质确定性指标评价要求及展示方式按照附录 B 中表 B.4 执行。

5.3.2 负荷变动试验评价

在人为设定的时间段内找到满足 DL/T 657 要求的负荷变动过程的试验数据，按照动态过程偏差统计指标进行品质评价，并将有效的试验结果进行保存及分析。负荷变动试验评价指标包括负荷指令变化率、实际负荷变化率以及负荷变动过程中负荷、主蒸汽压力、主蒸汽温度、再热蒸汽温度、中间点温度（直流锅炉）、汽包水位（汽包锅炉）、炉膛压力、烟气含氧量的最大偏差和平均偏差等。稳/动态过程机组主要参数调节品质指标按照附录 B 中的表 B.3 执行。

动态过程及稳态过程机组主要参数调节品质指标要求按照附录 B 中的表 B.1 和表 B.2 执行。

5.4 执行机构特性评价

5.4.1 时滞性和准确性评价

通过记录的运行工况实时和历史数据，分析执行机构控制指令与位置反馈的动态跟踪情况和静态偏差情况，评价执行机构时滞性和准确性。

5.4.2 执行机构流量特性评价

通过记录的运行工况实时和历史数据，分析执行机构反馈与流经该设备的流量关系，得出流量特性拟合曲线，辅助现场分析执行机构对控制回路调节品质的影响。

6 评价指标及计算方法

6.1 基础回路自动投入率计算

基础回路自动投入率 A_1 以月度为周期进行统计，计算见公式 (1)。

$$A_1 = \frac{t_a}{t_t} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

t_t ——理论应投入时长，以理论应投入状态测点及其判断条件作为统计依据，当理论应投入测点满足其条件判断表达式时，统计应投入时长，单位为小时 (h)；

t_a ——实际投入时长，以该回路实际投入状态测点作为依据，在理论应投入条件下，统计实际投入时长，单位为小时 (h)。

6.2 自动投入率分级和分类

按照对火电机组安全稳定运行的重要程度，对 300 MW 及以上容量的机组控制回路进行分级。对机组安全、经济性运行有很大影响的控制回路为一级回路，对机组主要设备的安全、经济性运行有明显影响的控制回路为二级回路，其他控制回路归为三级回路。

按火电厂控制回路被调量的特点，对其进行分类，相同或者相近的控制回路划分为同一分类，各分类之间权重可自行分配。

6.3 加权综合自动投入率计算

机组分级和分类后，根据统计出的各基础回路自动投入率及各级、各类控制回路分配的权重，计算各级、各类的自动投入率指标数据以及机组加权综合自动投入率，计算方法和标准见附录 C。

6.4 确定性指标评价计算

确定性指标是控制系统动态品质的时域指标，包括衰减比（衰减率）、最大动态偏差（超调量）、稳定时间等动态响应指标，是传统控制系统对控制性能的基本要求。

超调量 M_p ：反映了系统调节过程中被调量超过稳态值的最大程度，可用比率展示，计算见公式（2）。

$$M_p = \frac{y_{\max} - y_{\infty}}{y_{\infty}} \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

式中：

y_{\max} ——系统调节过程中的最大值，即 t_p 时刻对应的响应曲线 $y(t)$ 的值；

y_{∞} ——系统达到稳定状态后的输出稳态值。

延迟时间：设定值发生阶跃扰动后，被调量延迟动作达到设定值阶跃变化幅度的一定比例的时间，比例可定为 50%，如图 1 中 t_d 所示。

上升时间：响应曲线 $y(t)$ 首次达到稳定值的时间，反映了控制回路的响应速度，如图 1 中 t_r 所示。若控制回路不存在超调量，理论达到稳定状态需要无穷远的时间，可定义上升时间为响应曲线从稳态值的 10% 上升到稳态值的 90% 所需要的时间。

峰值时间：响应 $y(t)$ 曲线首次到达第一个峰值所需要的时间，如图 1 中 t_p 所示。

稳定时间（调节时间）：响应曲线 $y(t)$ 达到并保持在稳定值允许的误差范围内所需要的时间，如图 1 中 t_s 所示。误差范围可选取为稳定值的 $\pm 2\% \sim \pm 5\%$ 。

衰减率 φ ：反映响应曲线 $y(t)$ 越过设定值以后的两个波峰衰减的程度，用两次波峰之差与第一个波峰值的比值表示，计算见公式（3）。

$$\varphi = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

式中：

h_1 、 h_2 ——第一个和第二个波峰。

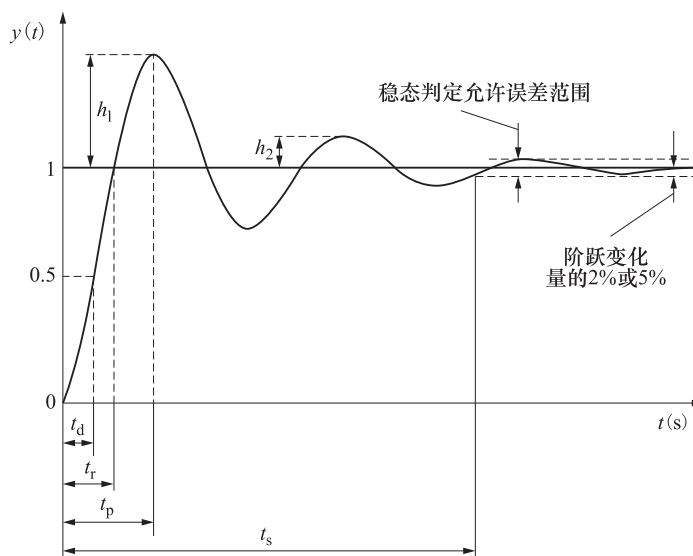


图 1 确定性指标计算示意图

6.5 误差积分指标

误差积分指标是用系统期望输出与实际输出或主反馈信号之间偏差的某个函数的积分式表示的一种性能指标，是衡量控制系统性能优良度的一种尺度。常用的误差积分指标有平方误差积分性能指标、时间乘平方误差积分性能指标、绝对误差积分性能指标和时间乘绝对误差积分性能指标四种。

绝对误差积分性能指标（ E_{iac} ）的形式见公式（4）。

$$E_{iac} = \int_0^{\infty} |e(t)| dt = \int_0^{\infty} |y(t) - y(\infty)| dt \dots\dots\dots (4)$$

时间乘绝对误差积分性能指标（ E_{itac} ）的形式见公式（5）。

$$E_{itac} = \int_0^{\infty} t |e(t)| dt = \int_0^{\infty} t |y(t) - y(\infty)| dt \dots\dots\dots (5)$$

平方误差积分性能指标（ E_{ise} ）的形式见公式（6）。

$$E_{ise} = \int_0^{\infty} [e(t)]^2 dt = \int_0^{\infty} [y(t) - y(\infty)]^2 dt \dots\dots\dots (6)$$

时间乘平方误差积分性能指标（ E_{itse} ）的形式见公式（7）。

$$E_{itse} = \int_0^{\infty} t [e(t)]^2 dt = \int_0^{\infty} t [y(t) - y(\infty)]^2 dt \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- t ——时间；
- $e(t)$ ——调节过程中系统实际输出与系统期望输出的偏差；
- $y(t)$ ——调节过程中系统实际输出；
- $y(\infty)$ ——调节过程中系统期望输出。

6.6 偏差统计指标评价

偏差统计指标是指在机组正常运行期间，依照 DL/T 657，识别机组和各控制回路运行状态，包括稳态过程和动态过程，计算在动态过程和稳态过程中的评价指标，包括正向最大偏差、负向最大偏差、正向平均偏差、负向平均偏差、最大偏差、平均偏差、交叉点以及动态过程超差面积、稳态过程超差面积等。

偏差统计指标计算方法见附录 D。

6.7 随机性评价指标

随机性指标评价是控制回路的控制过程理论意义上的最小方差与输出方差的比值，以最小方差控制指标（MVC）表示。计算公式（8）中，分子为评价的基准（理论可实现的最小方差），分母为实际的方差计算结果（实际达到的方差），通过比较得到一个比值，比值范围大于 0 且小于 1。实际方差越接近理论值，即随机性指标越接近 1，表示系统抗随机干扰能力越强。

最小方差控制指标（MVC）定义见公式（8）。

$$\eta(d) = \frac{\sigma_{mv}^2}{\sigma_y^2} \dots\dots\dots (8)$$

式中：

- $\eta(d)$ ——随机性指标；
- σ_{mv}^2 ——理论意义上的最小方差；
- σ_y^2 ——控制过程实际输出方差。

附录 A

(资料性)

控制回路分级、分类推荐标准

控制回路分级、分类推荐标准见表 A.1。

表 A.1 控制回路分级、分类推荐标准

回路等级	分类回路名称	基础回路名称
一级回路 (9类)	1. 协调控制	协调控制系统 CCS
		机跟炉方式
		炉跟机方式
		燃料主控
		主蒸汽压力控制
	2. 给水自动 (汽包锅炉)	水位控制
		A 汽动给水泵自动
		B 汽动给水泵自动
		电动给水泵自动
	3. 给水自动 (直流锅炉)	A 汽动给水泵自动
		B 汽动给水泵自动
		电动给水泵自动
		中间点温度
	4. 送风调节	A 送风机自动
		B 送风机自动
		氧量调节
	5. 引风调节	A 引风机自动
		B 引风机自动
	6. 一次风机调节	A 一次风机调节自动
		B 一次风机调节自动
	7. 过热器蒸汽温度调节	过热器一级减温水 A 自动
		过热器一级减温水 B 自动
		过热器二级减温水 A 自动
		过热器二级减温水 B 自动
		过热器二级减温水 C 自动
		过热器二级减温水 D 自动
	8. 再热器蒸汽温度调节	再热器微量喷水调阀 A 自动
再热器微量喷水调阀 B 自动		

表 A.1 (续)

回路等级	分类回路名称	基础回路名称
一级回路 (9类)	8. 再热器蒸汽温度调节	再热器事故喷水调阀 A 自动
		再热器事故喷水调阀 B 自动
		挡板控制
	9. 脱硝喷氨自动	脱硝喷氨调阀 A 自动
		脱硝喷氨调阀 B 自动
二级回路 (8类)	1. 高压加热器水位自动	1号高压加热器正常疏水调节
		1号高压加热器事故疏水调节
		2号高压加热器正常疏水调节
		2号高压加热器事故疏水调节
		3号高压加热器正常疏水调节
		3号高压加热器事故疏水调节
	2. 低压加热器水位自动	5号低压加热器正常疏水调节
		5号低压加热器事故疏水调节
		6号低压加热器正常疏水调节
		6号低压加热器事故疏水调节
		7号低压加热器正常疏水调节
		7号低压加热器事故疏水调节
		8号低压加热器正常疏水调节
		8号低压加热器事故疏水调节
	3. 除氧器水位调节	除氧器水位主调阀
		除氧器水位副调阀
		除氧器水位变频 A 调阀
		除氧器水位变频 B 调阀
		除氧器水位变频 C 调阀
	4. 凝汽器水位调节	凝汽器水位调阀 A
		凝汽器水位调阀 B
		凝汽器水位调阀 C
		凝汽器水位调阀 D
	5. 磨煤机冷风控制	磨煤机 A 冷风控制
		磨煤机 B 冷风控制
		磨煤机 C 冷风控制
		磨煤机 D 冷风控制
磨煤机 E 冷风控制		
磨煤机 F 冷风控制		

表 A.1 (续)

回路等级	分类回路名称	基础回路名称
二级回路 (8类)	6. 磨煤机热风控制	磨煤机 A 热风控制
		磨煤机 B 热风控制
		磨煤机 C 热风控制
		磨煤机 D 热风控制
		磨煤机 E 热风控制
		磨煤机 F 热风控制
	7. 燃料量控制	磨煤机 A 控制
		磨煤机 B 控制
		磨煤机 C 控制
		磨煤机 D 控制
		磨煤机 E 控制
		磨煤机 F 控制
	8. 轴封温度压力调节	低压轴封温度调节
		轴封溢流阀调节
主蒸汽至轴封压力供汽调节		
辅助蒸汽至轴封供汽调节		
三级回路 (5类)	1. 主机润滑油温度调节	主机润滑油温度调节
	2. 发电机冷却系统控制	发电机冷却系统控制
	3. 给水泵汽轮机油温度控制	给水泵汽轮机油温度控制
	4. 给水泵汽轮机密封水控制	给水泵汽轮机密封水控制
	5. 闭式循环冷却水系统控制	闭式循环冷却水系统控制
注：自动投入率的统计区间为机组运行在该系统应投自动的负荷区间。		

附录 B

(规范性)

自动控制调节品质要求

B.1 稳态过程机组主要参数调节品质指标要求。稳态过程机组调节性能指标按照 DL/T 657 执行，稳态过程机组主要参数调节品质指标要求见表 B.1。

表 B.1 稳态过程机组主要参数调节品质指标要求

指标值	负荷稳态偏差极值	主蒸汽压力 MPa	主蒸汽温度 ℃	再热蒸汽温度 ℃	汽包水位 mm	炉膛压力 Pa	烟气含氧量
300 MW 等级及以上亚临界机组	$\pm 1.0\%P_N$	± 0.3	± 3.0	± 4.0	± 25	± 100	$\pm 1\%$
超临界及超超临界机组	$\pm 1.0\%P_N$	± 0.3	± 3.0	± 4.0	—	± 100	$\pm 1\%$

B.2 动态过程机组主要参数调节品质指标要求。动态过程机组调节性能指标按照 DL/T 657 执行，动态过程机组主要参数调节品质指标要求见表 B.2。

表 B.2 动态过程机组主要参数调节品质指标要求

指标值	实际负荷平均变化率	负荷动态偏差极值	主蒸汽压力 MPa	主蒸汽温度 ℃	再热蒸汽温度 ℃	汽包水位 mm	炉膛压力 Pa
300 MW 等级及以上亚临界机组	每分钟不小于 $1.5\%P_N$	$\pm 1.5\%P_N$	± 0.5	± 8.0	± 10.0	± 60	± 100
超临界及超超临界机组	每分钟不小于 $1.5\%P_N$	$\pm 1.5\%P_N$	± 0.5	± 8.0	± 10.0	± 100	± 100

B.3 稳/动态过程机组主要参数调节品质指标，见表 B.3。

表 B.3 稳/动态过程机组主要参数调节品质指标

指标值	负荷偏差极值	主蒸汽压力 MPa	主蒸汽温度 ℃	再热蒸汽温度 ℃	汽包水位 mm	炉膛压力 Pa	烟气含氧量
允许值							
稳态指标							
评价结果	合格/不合格	合格/不合格	合格/不合格	合格/不合格	合格/不合格	合格/不合格	合格/不合格
注 1：直流锅炉不包括表中的汽包水位指标。 注 2：根据机组和机组运行状态等级和表 D.1、表 D.2 中的规定，记录在表“允许值”内。							

B.4 确定性指标评价主要控制回路调节品质指标，见表 B.4。

表 B.4 确定性指标评价主要控制回路调节品质指标

控制系统	被调量	扰动量 (推荐)	稳定时间		衰减率	
			允许值	实际值	允许值	实际值
主蒸汽压力控制系统	主蒸汽压力	± 0.6 MPa	<6 min		0.9~0.95	
给水控制系统	汽包水位	± 60 mm	<5 min		0.9~0.95	

表 B.4 (续)

控制系统	被调量	扰动量 (推荐)	稳定时间		衰减率	
			允许值	实际值	允许值	实际值
中间点温度控制系统	中间点温度	$\pm 8\text{ }^{\circ}\text{C}$	$<15\text{ min}$		0.9~0.95	
主蒸汽温度控制系统	主蒸汽温度	$\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$<15\text{ min}$		0.9~0.95	
再热蒸汽温度控制系统	再热蒸汽温度	$\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$<30\text{ min}$		0.9~0.95	
炉膛负压控制系统	炉膛负压	$\pm 200\text{ Pa}$	$<3\text{ min}$		0.9~0.95	
二次风量控制系统	二次风量	$\pm 200\text{ t/h}$	$<60\text{ s}$		0.9~0.95	
一次风压控制系统	一次风压	$\pm 500\text{ Pa}$	$<60\text{ s}$		0.9~0.95	
给煤机出口温度控制系统	磨煤机出口温度	$\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$	$<5\text{ min}$		0.9~0.95	
给煤机一次风量控制系统	磨煤机入口一次风量	$\pm 10\%$	$<20\text{ s}$		0.9~0.95	
给煤机入口风压控制系统 (中间仓储式制粉系统)	磨煤机入口风压	$\pm 50\text{ Pa}$	$<20\text{ s}$		0.9~0.95	

附录 C
(资料性)

各级、各类自动投入率的计算方法

对 300 MW 及以上等级的机组，对单个机组提供一种通用的分级和分类方法，为各等级和各分类控制回路分配权重。依照该方法对控制回路进行划分，可得出分级和分类的抽象方法，用于计算更科学和准确的各级、各类的自动投入率指标数据。

- a) 自动控制回路分级：由于自动控制回路的重要程度不同，将每套控制回路先划分为三个等级，一级回路、二级回路、三级回路。一级为对火电机组安全、经济性运行有很大作用的控制回路，如协调控制；二级回路为对机组主要设备的安全、经济性运行有很大作用控制回路，如磨煤机系统控制；其他控制回路归为三级回路。
- b) 按机组各不同的控制对象，在每个等级下，再划分为类，一级回路分为 n 类，二级回路分为 m 类，三级回路分为 k 类，每个类型的控制对象近似或者相同。
- c) 单类回路自动投入率计算。对自动控制回路分级、分类后，再通过各基础回路自动投入率指标数据及其对应的权重系数，汇总为各类自动投入率，一级回路下属的每类自动投入率记为 $A_{a1}, A_{a2}, \dots, A_{an}$ ，二级回路下属的每类自动投入率记为 $A_{b1}, A_{b2}, \dots, A_{bm}$ ，以此类推。对于任意一类控制回路自动投入率 A_{aj} 的计算见公式 (C.1)。

$$A_{aj} = \sum_{i=1}^n A_i x_i \times 100\% \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

A_i ——各基础回路自动投入率；

x_i ——各分类下基础回路的权重，权重系数应满足条件 $\sum_{i=1}^n x_i = 1$ ， n 为该类回路的基础回路套数。

- d) 根据各级下各分类回路自动投入率，对应其权重，输出一级回路自动投入率 A_1 、二级回路自动投入率 A_2 和三级回路自动投入率 A_3 。假设一级回路有 n 类，二级回路有 m 类，三级回路有 k 类，则各级投入率的计算分别见公式 (C.2) ~ 公式 (C.4)。

$$A_1 = \sum_{i=1}^n A_{ai} x_{ai} \times 100\% \dots\dots\dots (C.2)$$

$$A_2 = \sum_{i=1}^m A_{bi} x_{bi} \times 100\% \dots\dots\dots (C.3)$$

$$A_3 = \sum_{i=1}^k A_{ci} x_{ci} \times 100\% \dots\dots\dots (C.4)$$

式中各类回路 $A_{a1}, \dots, A_{an}, A_{b1}, \dots, A_{bm}$ 对应的权重系数为 $x_{a1}, \dots, x_{an}, x_{b1}, \dots, x_{bm}$ ，应满足同一分级下的各类回路权重系数总和为 1，见公式 (C.5)。

$$\sum_{i=1}^n x_{ai} = 1 \dots\dots\dots (C.5)$$

- e) 计算基于实时数据平台三级回路及三重权重系数综合计算的机组总投运率 A ，见公式 (C.6)。

$$A = A_1 \cdot x_1 + A_2 \cdot x_2 + A_3 \cdot x_3 \dots\dots\dots (C.6)$$

其中， x_1, x_2, x_3 为三级回路 A_1, A_2, A_3 对应的权重系数，三级回路权重系数之和为 1。

各等级、各分类回路及基础回路权重推荐标准见表 C.1。

表 C.1 各等级、各分类回路及基础回路权重推荐标准

回路等级及权重	回路分类及权重	基础回路名称	推荐控制回路权重
一级回路 (权重 50%)	1. 协调控制 (分类权重 $x_{a1}=12.5\%$)	协调控制系统 CCS	$x_i=1/n$ ，其中 n 为该分类下实际投运的基础回路套数
		机跟炉方式	
		炉跟机方式	

表 C.1 (续)

回路等级及权重	回路分类及权重	基础回路名称	推荐控制回路权重
一级回路 (权重 50%)	1. 协调控制 (分类权重 $x_{a1}=12.5\%$)	燃料主控	$x_i=1/n$, 其中 n 为该分类下实际投运的基础回路套数
		主蒸汽压力控制	
	2. 给水自动 (汽包锅炉) (分类权重 $x_{a2}=12.5\%$)	水位控制	50%
		A 汽动给水泵自动	25%
		B 汽动给水泵自动	25%
		电动给水泵自动	—
	3. 给水自动 (直流锅炉) (分类权重 $x_{a2}=12.5\%$)	A 汽动给水泵自动	25%
		B 汽动给水泵自动	25%
		电动给水泵自动	—
		中间点温度	50%
	4. 送风调节 (分类权重 $x_{a3}=12.5\%$)	A 送风机自动	35%
		B 送风机自动	35%
		氧量调节	30%
	5. 引风调节 (分类权重 $x_{a4}=12.5\%$)	A 引风机自动	50%
		B 引风机自动	50%
	6. 一次风机调节 (分类权重 $x_{a5}=12.5\%$)	A 一次风机调节自动	50%
		B 一次风机调节自动	50%
	7. 过热蒸汽温度调节 (分类权重 $x_{a6}=12.5\%$)	过热器一级减温水 A 自动	$x_i=1/n$, 其中 n 为该分类下实际投运的基础回路套数
		过热器一级减温水 B 自动	
		过热器二级减温水 A 自动	
过热器二级减温水 B 自动			
过热器二级减温水 C 自动			
过热器二级减温水 D 自动			
8. 再热蒸汽温度调节 (分类权重 $x_{a7}=12.5\%$)	再热器微量喷水调阀 A 自动	$x_i=1/n$, 其中 n 为该分类下实际投运的基础回路套数	
	再热器微量喷水调阀 B 自动		
	再热器事故喷水调阀 A 自动		
	再热器事故喷水调阀 B 自动		
	挡板控制		
9. 脱硝喷氨自动 (分类权重 $x_{a8}=12.5\%$)	脱硝喷氨调阀 A 自动	50%	
	脱硝喷氨调阀 B 自动	50%	
二级回路 (权重 40%)	1. 高压加热器水位自动 (分类权重 $x_{b1}=12.5\%$)	1 号高压加热器正常疏水调节	$x_i=1/n$, 其中 n 为该分类下实际投运的基础回路套数
1 号高压加热器事故疏水调节			
2 号高压加热器正常疏水调节			
2 号高压加热器事故疏水调节			
3 号高压加热器正常疏水调节			
3 号高压加热器事故疏水调节			

表 C.1 (续)

回路等级及权重	回路分类及权重	基础回路名称	推荐控制回路权重
二级回路 (权重 40%)	2. 低压加热器水位自动 (分类权重 $x_{b2}=12.5\%$)	5号低压加热器正常疏水调节	$x_i=1/n$, 其中 n 为该分类下实际投运的基础回路套数
		5号低压加热器事故疏水调节	
		6号低压加热器正常疏水调节	
		6号低压加热器事故疏水调节	
		7号低压加热器正常疏水调节	
		7号低压加热器事故疏水调节	
		8号低压加热器正常疏水调节	
		8号低压加热器事故疏水调节	
	3. 除氧器水位调节 (分类权重 $x_{b3}=12.5\%$)	除氧器水位主调阀	$x_i=1/n$, 其中 n 为该分类下实际投运的基础回路套数
		除氧器水位副调阀	
		除氧器水位变频 A 调阀	
		除氧器水位变频 B 调阀	
		除氧器水位变频 C 调阀	
	4. 凝汽器水位调节 (分类权重 $x_{b4}=12.5\%$)	凝汽器水位调阀 A	$x_i=1/n$, 其中 n 为该分类下实际投运的基础回路套数
		凝汽器水位调阀 B	
		凝汽器水位调阀 C	
		凝汽器水位调阀 D	
	5. 磨煤机冷风控制 (分类权重 $x_{b5}=12.5\%$)	磨煤机 A 冷风控制	$x_i=1/6$
		磨煤机 B 冷风控制	$x_i=1/6$
		磨煤机 C 冷风控制	$x_i=1/6$
		磨煤机 D 冷风控制	$x_i=1/6$
		磨煤机 E 冷风控制	$x_i=1/6$
		磨煤机 F 冷风控制	$x_i=1/6$
	6. 磨煤机热风控制 (分类权重 $x_{b6}=12.5\%$)	磨煤机 A 热风控制	$x_i=1/6$
		磨煤机 B 热风控制	$x_i=1/6$
		磨煤机 C 热风控制	$x_i=1/6$
		磨煤机 D 热风控制	$x_i=1/6$
		磨煤机 E 热风控制	$x_i=1/6$
		磨煤机 F 热风控制	$x_i=1/6$
	7. 燃料量控制 (分类权重 $x_{b7}=12.5\%$)	磨煤机 A 控制	$x_i=1/6$
磨煤机 B 控制		$x_i=1/6$	
磨煤机 C 控制		$x_i=1/6$	
磨煤机 D 控制		$x_i=1/6$	

表 C.1 (续)

回路等级及权重	回路分类及权重	基础回路名称	推荐控制回路权重
二级回路 (权重 40%)	7. 燃料量控制 (分类权重 $x_{b7}=12.5\%$)	磨煤机 E 控制	$x_i=1/6$
		磨煤机 F 控制	$x_i=1/6$
	8. 轴封温度压力调节 (分类权重 $x_{b8}=12.5\%$)	低压轴封温度调节	$x_i=1/n$, 其中 n 为该分类下实际投运的基础回路套数
		轴封溢流阀调节	
		主蒸汽至轴封压力供汽调节	
		辅助蒸汽至轴封供汽调节	
三级回路 (权重 10%)	1. 主机润滑油温度调节	主机润滑油温度调节	$x_i=1/n$, 其中 n 为该分类下实际投运的基础回路套数
	2. 发电机冷却系统控制	发电机冷却系统控制	
	3. 给水泵汽轮机油温度控制	给水泵汽轮机油温度控制	
	4. 给水泵汽轮机密封水控制	给水泵汽轮机密封水控制	
	5. 闭式循环冷却水系统控制	闭式循环冷却水系统控制	

附录 D

(资料性)

偏差统计指标计算方法

偏差统计指标作为一种统计性控制品质性能指标，是在不干扰生产的情况下，在评价周期内（可设定为 1 h），通过数据建模的方法，计算各控制回路的被控量的过程值与设定值的偏差的各项指标，并根据附录 B 中 B.1 和 B.2 各调节品质指标要求，在超过指标要求时，对不合格时间内的指标进行积分，计算超差面积指标。

偏差统计指标主要有最大偏差、正向最大偏差、负向最大偏差、正向平均偏差、负向平均偏差、平均偏差、交叉点及超差面积等。各项偏差统计指标中的指标计算方法如下。

最大偏差指标计算方法为：

$$B_{\max} = \max_{0 < i < t} |pv_i - sp_i| \cdots \cdots \cdots (D.1)$$

正向最大偏差指标计算方法为：

$$B_{\max}^+ = \max_{0 < i < t} (pv_i - sp_i) \cdots \cdots \cdots (D.2)$$

正负向最大偏差指标计算方法为：

$$B_{\max}^- = \min_{0 < i < t} (pv_i - sp_i) \cdots \cdots \cdots (D.3)$$

正向平均偏差指标计算方法为：

$$b_{\text{avr}}^+ = \sum_{(pv_i - sp_i) > 0}^t (pv_i - sp_i) / \sum_{(pv_i - sp_i) > 0}^t i \cdots \cdots \cdots (D.4)$$

负向平均偏差指标计算方法为：

$$b_{\text{avr}}^- = \sum_{(pv_i - sp_i) < 0}^t (pv_i - sp_i) / \sum_{(pv_i - sp_i) < 0}^t i \cdots \cdots \cdots (D.5)$$

平均偏差指标计算方法为：

$$b_{\text{avr}} = \sum_0^t (pv_i - sp_i) / t \cdots \cdots \cdots (D.6)$$

正向超差面积指标计算方法为：

$$S_{\text{bias}}^+ = \sum_{pv_i - sp_i > 0; (pv_i - sp_i) - |s_y| > 0}^t [(pv_i - sp_i) - |s_y|] \cdots \cdots \cdots (D.7)$$

负向超差面积指标计算方法为：

$$S_{\text{bias}}^- = \sum_{pv_i - sp_i < 0; (sp_i - pv_i) - |s_y| < 0}^t [(sp_i - pv_i) - |s_y|] \cdots \cdots \cdots (D.8)$$

交叉点为在考虑死区的情况下，统计时段内设定值与过程值的交汇次数。

公式 (D.1) ~ 公式 (D.8) 中： i 为时刻， t 为整个统计时段， sp_i 为 i 时刻下的设定值， pv_i 为 i 时刻下的过程值， s_y 为控制回路调节品质指标标准值。