

ICS 29.020

CCS K40

DB 53

云 南 省 地 方 标 准

DB53/T 1414—2025

云南电解铝用户涉网运行技术规范

2025 - 06 - 07 发布

2025 - 09 - 07 实施

云南省市场监督管理局 发 布

目 次

目 次..... I

前 言..... III

1 范围..... 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 总则..... 2

5 有功负荷控制..... 2

6 无功负荷控制..... 3

7 电压适应性要求..... 3

8 频率适应性要求..... 4

9 电能质量要求..... 4

10 主要设备及技术要求..... 4

11 涉网资料..... 6

12 涉网安全运行测试..... 6

附录 A（规范性） 涉网安全运行测试记录表..... 9

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。

本文件由云南省电力装备标准化技术委员会（YNTC09）提出并归口。

本文件起草单位：云南电网有限责任公司、武汉大学、云南电网有限责任公司电力科学研究院、云南文山铝业股份有限公司、云南神火铝业有限公司、云南宏泰新型材料有限公司、云南铝业股份有限公司、云南省电器产品质量监督检验站、昆明高海拔电器检测有限公司。

本文件主要起草人：李玲芳、孙鹏、陈义宣、张杰、司大军、廖思阳、段平生、朱欣春、吴琛、徐箭、黄伟、施超、莫海峰、游广增、陈姝敏、龙剑、曾丕江、高杉雪、晏庭林、陈耀文、张川登、汪海波、程伟、杨雁然、孟敏、黄润、何焯、朱涛、张丹、郑超铭、申雪、余强、刘民伟、李胜男、何廷一、何鑫、林瑞瑜、配红军、宫庆峰、陈立涛、李秀峰、杨家全、和学豪、陈强、杨绍鹏、陈晨、官自伟。

云南电解铝用户涉网运行技术规范

1 范围

本文件规定了利用电能电解氧化铝生产的电力用户（简称“电解铝用户”）涉网运行的负荷控制、电压适应性、频率适应性、电能质量、主要设备、涉网资料及安全运行测试的要求。

本文件适用于110 kV及以上电压等级并网的电解铝用户，35 kV及以下电压等级电解铝用户可参照执行。

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 156 标准电压
- 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 14285 继电保护和安全自动装置技术规程
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 15543 电能质量 三项电压不平衡
- GB/T 15945 电能质量 电力系统频率偏差
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 24337 电能质量 公用电网间谐波
- GB/T 36572 电力监控系统网络安全防护导则
- GB 38755 电力系统安全稳定导则
- DL/T 280 电力系统同步相量测量装置通用技术条件
- DL/T 634.5101 远动设备及系统 第5-101部分：传输规约 基本远动任务配套标准
- DL/T 724 电力系统用蓄电池直流电源装置运行与维护技术规程
- DL/T 825 电能计量装置安装接线规则
- DL/T 860（所有部分） 电力自动化通信网络和系统
- DL/T 5157 电力系统调度通信交换网设计技术规程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电解铝用户 electrolytic aluminum users

电解铝用户是指电力系统中利用电能电解氧化铝（ Al_2O_3 ）完成高纯度铝金属生产的电力用户。

3.2

电解铝用户并网点 point of connection of electrolytic aluminum users

电解铝用户接入公用电网的连接处。

注：本文件中简称并网点。

3.3

系统标称电压 system rated voltage

电力系统设计选定的电压。其值符合GB/T 156 的规定。

3.4

电压偏差 deviation of voltage

电力系统电压变化率小于每秒1 %时的实际电压与系统标称电压值之差。

3.5

电解铝直流电压 direct voltage of electrolytic aluminum

串联的电解槽两端的直流电压降之和。

3.6

电解铝直流电流 direct current of electrolytic aluminum

流过每个串联电解槽的电流。

3.7

安全稳定控制装置 security and stability control equipment

为保证电力系统在遇到大扰动时的稳定性而在厂站内装设的控制设备，实现切机、切负荷、快速减出力、直流功率紧急提升或回降等功能，是保持电力系统安全稳定运行的第二道防线的重要设施。

注：本文件中简称稳控装置。

3.8

自动功率控制（APC） automatic power control

采用信息通信和自动控制技术，从电网侧向用户下达负荷的实时调节指令，实现对电网调控范围内发电机、可调节负荷等源网荷储各环节调节资源有功的目标计算分配和自动跟踪调节，达到满足电网电力平衡及频率调节等要求，维持系统频率和联络线交换功率在计划偏差范围内的闭环控制过程。

4 总则

4.1 电解铝用户应遵循电力调度运行要求，其站内运行方式安排应按 GB 38755 规定的“N-1 原则”执行，确保用户整流变压器、动力变压器等重要用电设备运行方式满足要求。

4.2 电解铝用户应在正常运行方式下保持稳定的有功功率，并符合并网点功率因数控制要求。

4.3 在电网发生设备跳闸、跳机等故障扰动的紧急情况下，电解铝用户应按电力调度要求执行负荷控制、安稳控制等紧急功率控制。

4.4 电解铝用户执行电网控制指令时，应做好自身设备安全、人身安全等现场安全保障措施。

5 有功负荷控制

5.1 有功负荷控制要求

5.1.1 正常运行方式下，电解铝用户有功负荷应保持稳定，5 min 内有功负荷波动不应超过运行负荷的 5%。

5.1.2 电网发生故障等特殊情况下，电解铝用户应按电力调度控制要求进行负荷控制。

5.2 有功负荷的可控性

电解铝用户应做好设备运维及生产管理，有功负荷的控制应满足表1中的要求。

表 1 电解铝用户有功负荷控制要求

序号	功率比例	持续运行时间
1	$100\%P_N \sim 95\%P_N$	长期
2	$90\%P_N$	240 min
3	$80\%P_N$	60 min
4	$70\%P_N$	30 min
注： P_N 为电解铝负荷额定有功功率。		

5.3 参与电网调频

- 5.3.1 电解铝用户可根据自身情况及电力调度运行需求，参与电网频率调控。
- 5.3.2 电解铝用户参与电网频率调控的辅助调频容量，应不小于用户运行负荷的 5%。
- 5.3.3 电解铝用户参与电网调频的相关定值，包括动作定值、死区等，应按电力调度控制要求进行整定。
- 5.3.4 电解铝用户对参与电网调频的响应情况，包括启动频率、调节容量、调节时长等，应具备实时数据处理、监视等功能。

5.4 参与电网自动功率控制

- 5.4.1 电解铝用户可根据自身情况及电力调度运行要求，参与电网自动功率控制。调控过程中应服从电力调度机构指挥，迅速、准确执行调度指令。
- 5.4.2 电解铝用户参与电网自动功率控制，应结合实时调度指令信息自动调整可调控设备，实现闭环调整，调节的负荷量、持续时长等信息应具备实时数据处理、监视等功能。

6 无功负荷控制

6.1 无功功率补偿

电解铝用户应配备满足自身生产需求的无功补偿装置，无功补偿容量应能够补偿电解铝用户工作在额定负荷水平下所需要的无功功率。

6.2 功率因数

电解铝用户并网点功率因数应不低于0.95，对于电力调度机构认定的电网薄弱地区用户，应不低于0.98。

7 电压适应性要求

- 7.1.1 并网点供电电压在正、负偏差绝对值之和不超过标称电压 10%的运行期间，电解铝用户应具有稳定运行的能力。
- 7.1.2 电解铝用户应具备外部故障的抗扰动能力，在电网侧发生的短路故障引起用户并网点暂态电压突变扰动期间，电解铝用户应保持稳定运行。
- 7.1.3 在并网点电压跌至标称电压的 80%及以下时，电解铝用户维持并网运行时间应不低于 20 s。

8 频率适应性要求

当电网频率变化在 48 Hz~55 Hz 范围时，电解铝用户应具有长期并网运行的能力；当并网点频率高于 55 Hz 或低于 48 Hz 时，电解铝用户可根据自身情况确定并网运行或退出运行。

9 电能质量要求

- 9.1 电解铝用户频率偏差应满足 GB/T 15945 的要求。
- 9.2 电解铝用户电压偏差应满足 GB/T 12325 的要求。
- 9.3 电解铝用户三项电压不平衡度应满足 GB/T 15543 的要求。
- 9.4 电解铝用户并网点的谐波电压及注入的谐波电流应满足 GB/T 14549 的要求。
- 9.5 电解铝用户间谐波应满足 GB/T 24337 的要求。
- 9.6 电解铝用户电压波动和闪变应满足 GB/T 12326 的要求。

10 主要设备及技术要求

10.1 整流机组

10.1.1 整流机组容量应满足以下要求：

- a) 正常情况下，电解铝用户整流机组的运行方式安排应满足 GB 38755 规定的“N-1 原则”，即跳开 1 台整流机组时，剩余机组可保持正常运行，不会引发过电流保护、过负荷保护动作；
- b) 对于并入电力调度机构认定的电网薄弱地区用户，根据电力调度运行要求需要执行电网稳控切负荷指令的电解铝用户，宜按 N-2 要求配置整流机组容量，即跳开 2 台机组时，剩余机组仍可稳定运行，不会引发过电流保护动作。

10.1.2 整流机组过流保护裕度应满足以下要求：

- a) 整流机组过流保护的整定，应充分考虑整流机组切除过程中的电磁感应影响，在保障设备安全的情况下，过流保护的裕度宜按 N-2 要求整定，即跳开 2 台机组时，不会引发过电流保护动作；
- b) 整流机组过流保护限值 $I_{d,th}$ ，按公式（1）要求整定。

$$\begin{cases} I_{d,th} > \frac{(1+n\alpha)I_{d,all}}{m} \\ I_{d,th} > \frac{I_{d,all}}{m-n} \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- n —— 切除的机组台数；
- m —— 整流机组总数；
- α —— 切除整流机组时的电流感应系数；
- $I_{d,all}$ —— 电解铝直流电流，单位为安（A）。

10.1.3 整流机组功率调控响应应满足以下要求：

- a) 电解铝用户参与电网安全稳定控制时，应保证整流机组切除控制指令在 100 ms 内执行；
- b) 电解铝用户参与电网辅助调频控制时，应满足电力调度控制要求。

10.2 继电保护装置

10.2.1 电解铝用户应按 GB/T 14285 要求，配置整流机组的过电流保护、过电压保护、过负荷保护等保护装置，保障用户设备运行安全。

10.2.2 电解铝用户站内直流电源配置应满足 DL/T 724 要求。

10.2.3 电解铝用户设备的过电压、过电流、过负荷保护，以及供电线路的距离、零序、差动等保护定值的整定应与电网侧配合，并根据电力调度机构提供的资料进行校核，校核结果报电力调度机构备案。

10.2.4 电解铝用户涉网保护投入状态的改变，包括过电流、过电压、过负荷以及与电网侧配合的线路、母线、主变、接地变、无功补偿等保护，应及时向电力调度机构汇报。

10.2.5 电解铝用户对涉网继电保护及安全自动装置软件版本，在新投、修改、升级前应对其书面说明材料及检测报告进行确认，并对原运行软件进行备份。

10.3 稳控装置及故障录波装置

10.3.1 根据电网安全稳定控制需要，电解铝用户配置的稳控装置，应实现电网安稳控制主站与电解铝用户执行站的通信与信息交互，并执行切除整流机的控制功能，装置的配置应满足 GB/T 14285 要求。

10.3.2 电解铝用户应配置交流故障录波装置，对站内交流流量进行录波，满足事故追溯要求，故障录波设备应具备接入数据传输通道传至电力调度机构的功能。

10.3.3 电解铝用户应配置直流故障录波装置，对站内直流量、稳流控制系统控制指令等整流器信息进行录波，满足事故追溯要求，故障录波设备应具备接入数据传输通道传至电力调度机构的功能。

10.4 稳流装置

10.4.1 电解铝用户的稳流控制柜宜预留与电网控制系统（包括负荷控制系统、安全稳定控制系统、调频等控制系统）的实时通信接口。

10.4.2 电解铝用户的稳流控制系统宜能向电网控制系统上传以下信息：

- a) 稳流装置工作状态信息，包括大闭环、小闭环运行状态、稳流系统投退状态等；
- b) 稳流控制指令，如稳流电流值、饱和电抗器设定参数、晶闸管导通角等；
- c) 运行整流机组的数量；
- d) 单台整流机组的运行状态量，如直流电流、直流电压、有功功率、无功功率。

10.4.3 电解铝用户的稳流控制系统，应具备接收并执行电网控制系统下发的功率或电流控制指令能力，并将执行情况反馈电网控制系统。

10.5 同步相量量测装置（PMU）

10.5.1 根据电力调度控制要求，电解铝用户应配置同步相量量测装置（PMU），实现对电解铝用户电气量的实时动态监测，PMU 装置的配置应满足 DL/T 280 的相关要求。

10.5.2 PMU 装置应监控和记录电解铝用户的以下基本电气量：

- a) 高压母线电压、频率，进出线的电流、有功功率、无功功率；
- b) 各台调压变压器高压侧、中压侧、低压侧的电流、电压；
- c) 各台整流变压器交流侧电流、电压；
- d) 各台整流变压器直流侧电流、电压；
- e) 直流母线电压、电流。

10.6 通信与网络安全

10.6.1 电解铝用户与电力系统的通信方式、传输通道和信息传输内容应按 DL/T 860、DL/T 5157、DL/T

10.6.2 634.5101 的相关规定执行，并满足电力调度机构要求。

10.6.3 电解铝用户与电力系统的信息交互网络类型主要包含调度数据网、综合数据网、专用通信网络。对需下达电解铝用户负荷调节策略的，应优先采用调度数据网下发，调度数据网未覆盖到的用户宜采用专用通信网络。

10.6.4 电解铝用户与电力系统信息交互应满足 GB/T 22239、GB/T 36572 对信息网络安全、电力监控网络安全防护及配套防护的要求。

10.7 低压脱扣装置

10.7.1 电解铝用户应退出低压脱扣装置，对于因生产经营要求确需投入的，应根据负荷特性、生产需要合理整定延时脱扣时间，并与电网侧低压减载等保护动作时间配合。

10.7.2 对于用户重要负荷、保安负荷应配置快速复电保障措施，如：不间断供电电源（UPS）、双电源自动转换开关（自动转换开关 ATS、静态转换开关 STS）等。

10.8 电能计量装置及计量自动化

10.8.1 电解铝用户电能计量装置及安装应满足 DL/T 825 规定要求。

10.8.2 电解铝用户结算用电能计量装置应配置在产权分界处。如产权分界处不适宜安装电能计量装置时，对专线供电的电解铝用户，可在供电线路对侧配置。

10.8.3 同一计量点应配置 2 只型号、规格、准确度等级相同的三相多功能电能表。其中 110 kV 及以上电压等级供电的电解铝用户，应配置有功 D 级、无功 1.0 级的三相多功能电能表；35 kV 电压等级供电的电解铝用户，应配置有功 C 级、无功 2.0 级及以上三相多功能电能表。

10.8.4 电解铝用户均应配置 1 套计量自动化终端，并接入计量自动化系统。专线接入的电解铝用户，应配置厂站电能量采集终端；公线接入的电解铝用户应配置负荷管理终端。

11 涉网资料

电解铝用户启动生产供电前三个月，应根据新设备投产计划，向电力调度机构报送相关涉网运行设备资料，包含但不限于以下内容：

- a) 用户电气一次主接线图，典型运行方式、二次接线图及整定参数；
- b) 主要电气设备（包含有载调压变压器、整流变压器、饱和电抗器、二极管/晶闸管整流器、电解槽、无功补偿装置等）的型号、铭牌参数等资料；
- c) 稳流系统控制逻辑框图及主要控制参数；
- d) 继电保护配置型号及整定情况。

12 涉网安全运行测试

12.1 测试要求

12.1.1 电解铝用户在并网运行生产后三个月内，应完成相关涉网安全运行测试，并向电力调度机构提供并网测试报告。

12.1.2 需要开展的测试项目主要有：

- a) 电解铝用户负荷参数辨识测试；
- b) 电解铝用户切除整流机组耐受性能测试；
- c) 电解铝用户参与电网安全稳定控制方案测试；

d) 电解铝用户功率连续控制性能测试。

12.1.3 测试工况宜包括电解铝用户处于不同负荷水平，包括：低负荷水平（额定负荷的 30%）、中负荷水平（额定负荷的 70%），以及额定负荷水平。

12.2 负荷参数辨识测试

12.2.1 电解铝用户通过负荷参数辨识测试，验证其主要生产设备的控制特性，为系统仿真提供分析模型。

12.2.2 通过调节变压器分接头或直流稳流定值，记录电解槽的直流电压 U_d 、直流电流 I_d 、总有功功率 P_d 系列数值，测试记录按表 A.1 要求。

12.2.3 根据表 A.1 数据及公式（2），可计算电解槽模型中的等效电阻 R 、反电动势 E 。

$$U_d = I_d \times R + E \quad (2)$$

式中：

U_d —— 直流电压，单位为伏（V）；

I_d —— 直流电流，单位为千安（kA）；

R —— 电解槽等效电阻，单位为毫欧（mΩ）；

E —— 电解槽反电动势，单位为伏（V）。

12.3 切除整流机组耐受性能测试

12.3.1 电解铝用户通过切除整流机组耐受性能测试，验证其切除整流机组的可靠性、安全性和切除容量，测试记录按表 A.2 要求。

12.3.2 通过切除不同台数的整流机组，记录被切整流机组、相邻整流机组等切机前、后有功功率、直流电流的变化情况，测试记录按表 A.2 要求。

12.3.3 根据表 A.2 数据及公式（3），可确定感应电流系数 α 。

$$\alpha = \frac{I'_{d,oth} - I_{d,oth}}{I_{d,cut}} \quad (3)$$

式中：

$I'_{d,oth}$ —— 切机后相邻整流机组直流电流，单位为千安（kA）；

$I_{d,oth}$ —— 切机前相邻整流机组直流电流，单位为千安（kA）；

$I_{d,cut}$ —— 切机前被切除的整流机组上直流电流（之和），单位为千安（kA）；

α —— 感应电流系数。

12.3.4 在切除整流机组测试过程中，应监测未切除的整流机组输出的直流电流最大值，若超出负荷过流告警限值时，将不再继续切除其他机组。

12.3.5 测试过程中若出现其他整流机组跳闸的情况，则不再继续后续试验，待机组跳闸原因分析清楚，做好相关防控措施并恢复正常运行后，方可继续开展测试。

12.4 参与电网安全稳定控制方案测试

12.4.1 根据电力调度运行要求，纳入电网安全稳定控制系统切负荷对象的电解铝用户，需配合电网开展稳控系统联调及切负荷传动试验，验证电网安全稳定控制主站与电解铝用户稳控执行站间的通信、信息、命令的传输、接收、防误闭锁措施的正确性和可靠性，以及电解铝用户稳控装置出口回路的正确性。

12.4.2 切负荷传动试验可结合切除整流机组耐受性能测试同步开展，测试记录按表 A.2 要求。

12.5 功率连续控制性能测试

- 12.5.1 对于需参与电网辅助调频、自动功率控制等负荷调控的电解铝用户，应开展功率连续控制特性测试，验证控制功能的有效性及响应速度。
- 12.5.2 测试内容包含电解铝负荷升功率、降功率等连续化控制测试，测试记录按表 A.3 要求。

附录 A
(规范性)
涉网安全运行测试记录表

A.1 电解铝用户参数辨识测试记录见表 A.1。

表 A.1 电解铝用户参数辨识测试记录表

控制	档 kA	电解铝直流电压 V	电解铝直流电流 kA	总有功功率 MW
调节分接头 档位	第n档			
	第n+1档			
	第n+2档			
	第n+3档			
	第n+4档			
	第n+5档			
				
调节直流稳 流定值	给定值1			
	给定值2			
	给定值3			
	给定值4			
	给定值5			
				

A.2 电解铝用户切除整流机组耐受性能测试记录见表A.2。

表 A.2 电解铝用户切除整流机组耐受性能测试记录表

测试内容	切机前被切整流 机		全系列 有功功 率 MW		响应时间 ms		切机前，相邻整 流机组1（单机）		切机后，未切 除的相邻整 流机组 ^a （单 级）过流情况 kA		切机后，未切 除的非相邻 整流机组（单 机）过流情况 kA		电解槽 耐受持 续时间 ^b min
	直流 电流 kA	有功 功率 MW	切 机 前	切 机 后	切除 动作 时间 ^c	完全 响应 时间 ^d	直流 电流 kA	有功 功率 MW	直流 电流 最大 值	直流 电流 稳态 值	直流 电流 最大 值	直流 电流 稳态 值	
切1台整流机													
切2台整流机													
.....													
切除n台整流机 ^e													
^a 相邻整流机组：指与被切除整流机组电气距离最近的整流机。 ^b 电解槽槽温降低至最低正常工作温度，能持续运行的时间。 ^c 从切除整流机组指令发出开始，到整流机组并网开关跳开的时间。 ^d 从用户收到切除整流机组指令开始，到整流机组并网开关跳开，切除后负荷有功功率偏差始终控制在稳态值±2%以内的起始时刻时间。 ^e 切机台数 n ≤ 电解铝用户运行整流机组总数的 1/2。													

A.3 电解铝用户功率连续化控制测试记录见表 A.3。

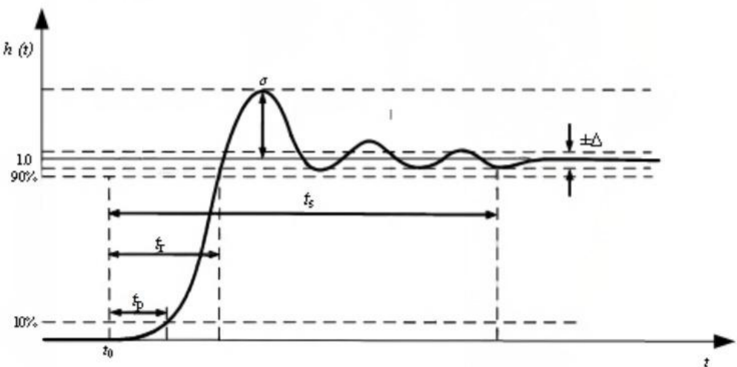
表 A.3 电解铝用户功率连续化控制测试记录表

控制手段		调节饱和电抗器 []		晶闸管指令值 []	
功率方向	控制指令	响应滞后时间 ^a ms	响应上升时间 ^b ms	调节时间 ^c ms	电解槽耐受持续时间 min
升功率	指令1:xx				
	指令2:xx				
					
降功率	指令1:xx				
	指令2:xx				
					

^a 从电解铝用户有功控制系统自接收到电网侧实时下达（或预先设定）的有功功率控制指令开始，到电解铝用户负荷实际功率调整量为目标调整量的 10%所需的时间（见图 A.1）。

^b 从电解铝用户有功控制系统自接收到电网侧实时下达（或预先设定）的有功功率控制指令开始，到电解铝用户负荷实际功率调整量达到目标调整量的 90%所需的时间（见图 A.1）。

^c 从电解铝用户有功控制系统自接收到电网侧实时下达（或预先设定）的有功功率控制指令开始，到功率达到目标控制功率且功率偏差始终控制在±2 %以内的起始时刻时间（见图 A.1）。



图示说明：

t_p ——响应滞后时间，单位为毫秒（ms）；

t_r ——响应上升时间，单位为毫秒（ms）；

t_s ——调节时间，单位为毫秒（ms）；

σ ——超调量；

$\pm \Delta$ ——允许偏差，为±2 %。

图 A.1 电解铝有功负荷控制系统响应性能指标