

# 浅谈电解铝行业稳流控制方式

朱清泽 熊 磊 王定磊 曹安雄 陈来丽  
云南云铝海鑫铝业有限公司 云南 昭通 657000

**摘要：**电解铝行业降压站在铝电解生产中扮演着至关重要的角色，为电解铝正常生产提供能量来源，实现电解铝的电解还原，维持电解反应的持续运行，控制电解过程的参数必须提供可靠和稳定的直流电流。随着铝电解铝技术更新、铝行业发展需求对铝产品的高要求、各电解铝行业之间的技术竞争，恒定的直流输送电流是电解铝生产工艺的核心，不稳定的输送电流会导致电解槽温度不平衡、电压不稳定、漏槽、电解槽爆炸等安全生产风险，同时也会造成整流机组电流波动较大或并联运行整流机组发生跳闸，威胁降压站整流变压器、整流器等设备的安全运行，严重程度造成降压站异常甩负荷事件影响电网的安全运行。因此为了电解铝生产工艺的安全运行，我们必须采用合理的稳流控制方式来控制电解槽直流电流的稳定供给。

**关键词：**电解槽；电流调节；稳流控制方式；PLC模块；分调；总调

引言：在供电系统中存在的风险通常包括设备运行对人的风险、设备长期带病运行风险、不合理的设备运行方式给供电系统带来的风险以及人为的操作方式带来的设备和人身风险等。在电解铝生产工艺中，我们经历了100kA、180kA、300kA、350kV强电流的一系列的变革，以至发展至成熟的400kA甚至500kA强电流的直流供电系统，这需要极具合理而稳定的直流稳流控制方式。直流电流的供电稳定性决定了电解槽的使用寿命和运行安全，做好电解系列电流高效的平稳的控制至关重要，我们应采取合理而安全的稳流控制方式，合理的稳流控制方式有利于提高整流变压器整流效率，降低整流变压器、整流器的损耗；在生产实际中，根据长期对设备监控、运行和操作中，并不是一成不变的，应根据设备状态和生产工艺去调整设备运行方式，合理的稳流控制方式有利于提高设备生产效率，同时降低设备运行风险和延长设备使用寿命，有效保障了人身和设备安全等。对不合理的稳流控制方式会导致直流电流的不稳供给，同时也不利于运行人员操作和控制，增加了设备运行风险和操作风险，严重导致电解工艺瓦解和人员伤亡事件。本文将围绕对常见的稳流控制方式、稳流系统的控制方式的调整、稳流控制方式的优缺点、不同的控制方式存在的风险进行探讨。

## 1 常见的稳流控制方式

常见的整流电路有单相半波整流、单相全波整流、三相半波整流、三相桥式全波整流电路，根据生产工艺对电流、电压和功率的需求不同，选择不同的整流电路，对直流电流的控制也有多种形式，对于多机组并联运行直流供电系统，利用直流电流采集传感器、PLC模

块、直流调速装置、通信设备及服务器、工作站及通信设备设施实现电流的有效调节，将直流电流控制在可控的范围，常见的稳流控制方式有开环调节模式的总调和分调模式，闭环调节模式的总调和分调模式。下面我们谈谈整流二极管的稳流控制方式

## 2 开环调节下整流机组总调控制方式

电流调节一般过程：针对于多机组并联运行下的稳流控制模式，开环调节下操作人员通过后台工作站给定一个电流值至总调PLC控制模块，PLC通过PID计算模块进行分析，平均将电流下发给单机组PLC，单机组PLC调节结合直流调速装置平滑调节单机组输出，在机组整流二极管输出端通过直流电流采集传感器将输出电流反馈回单机组PLC及隔离变送器、控制器及电流表。在机组总调模式下单机组通过PLC和直流电流传感器相结合实现负反馈，实现稳流控制小闭环调节，是单台机组系统给定和反馈总是在动态的平衡中，实现机组的稳定输出，从而不致影响总的系列直流电流的波动，单机组直流传感器通过0—5V或4—20mA的模拟量输出至隔离变送器、控制器和电流表等一系列途径实现直流电流的稳定传输，实现对直流电流的有效控制和监视，确保生产工艺的安全生产，同时有利于工作人员根据生产工艺和设备运行情况合理调整设备运行方式或当出现异常情况是能够及时采用应急措施<sup>[1]</sup>。

## 3 电流给定及稳流系统监控

电流给定：通常情况下电流给定操作分为后台监控电脑操作界面给定和通过PLC给定，便于操作或系统安全我们一般采用后台监控电脑稳流界面上进行直流电流给定，对于多机组并联运行方式下，在给定电流前，我

们首先要确认每一台机组的额定电流是多少？生产工艺需要的直流电流是多少？有多少台整流器投入运行并是否运行正常，确保稳流界面是否有效，确保整流器稳流系统是否投入运行，等一系列的问题，确保给定电流后不会造成整流机组出现异常或故障被切除，整流机组稳流方式通常为变压器有载开关粗调和饱和电抗器细调，电流给定调节通常需要与调压变压器有载开关档位相互匹配进行，有载开关通过改变变压器二次绕组在电路中的匝数从而改变变压器的二次电压来调节变压的输出，电流给定操作应结合变压器有载档位、饱和电抗器励磁绕组控制电流进行操作，不管是降低机组输出电流（停机）或是升高机组输出电流（送电）给定都需要逐步执行到位，不能一次性到位，否则会造成整流机组直流调速装置卡顿或电流不稳定，带来操作风险。每次直流电流给定的步长或幅度应保证饱和电抗器励磁绕组控制电流在可控范围里变化。每次电流给定调整后应观察并联运行机组输出电流平衡及整流机组运行数据是否正常，出现异常应停止下一步电流给定和及时处理，正常后方能进行下一步操作，防止整理机组由于输出电流不平衡导致某一台出现过流导致的跳闸事件或故障，造成电网甩负荷事件。在总调下调整负荷时应控制负荷变化情况，过大的负荷波动将会造成电网负荷波动，从而导致电网频率波动。

**稳流系统监控：**正常运行过程中，总调控制方式下对稳流系统的监控较为简单，对运行人员最重要的时总给定电流和总反馈电流是否达到生产工艺所要求的电流值，当整流机组总输出偏离生产工艺要求的直流电过大时运行人员应正确合理的调整，一般情况电流反馈值在 $\pm 0.5$ 范围内波动时不需要去调整，手动频繁调整直流输出时会导致反馈值误差增大。在满足直流电流总反馈正常情况下，我们应注重并联运行整流机组直流电流输出是否均衡，控制电流是否正常，在不停电的生产工艺中，会出现工艺设备各种各样的异常情况或事故，从而导致了直流电流的异常波动，或整理机组瞬间瓦解，造成电网发电机组频率下降，丢失负荷。运行人员应根据实时变化的数据或生产现场的相关反馈信息合理调整系列直流电流，将风险控制在最小范围。运行人员应正确监控后台稳流界面运行数据，特别注意导致整流机组跳闸的关键数据或报警信号，例如冷却循环水水压，水温，变压器油温以及整流机组相关部件发至后台监控机的报警和跳闸信号，运行人员应做好分析和处理<sup>[2]</sup>。

**直流电流异常处理：**电解铝行业的特殊性造就了对电解直流电流的稳流控制的不同，对于稳流系统来说，

常见的故障有：电流、电压同增同降；电流升高、电压下降；电流突增、电压突降；上级电网某一回路断路器跳闸造成电网电压波动导致的瞬间直流电流突变但又及时恢复；整流机组运行方式不正确事故导致电解电流供给中断；外界电流入侵导致整流机组发生跳闸导致电解直流电流中断以及运行人员误操作导致的电流波动等。对于一般性或者正常的电流、电压波动来说，作为运行人员来说可以通过对稳流系统数据的变化情况，结合现场生产工艺和当天的生产任务作出正确的判断和调整，在电解铝生产中，对直流的冲击更多的是电解槽内电化学反应不充分、电解槽温度异常等导致电解槽电压不稳定，产生的效应电压和效应电流对稳流系统的影响，造成了直流电流电压的波动。运行人员可以通过稳流界面电流电压曲线波动幅度大小和时间长短、直流反馈情况，控制电流的变化情况进行控制。

#### 4 当电解槽突发情况需要急停时

当电解槽发生效应时：运行人员应熟悉并时刻监控电解直流电流的变化情况，如果效应电压过大且时间较长，运行人员应引起重视并和生产现场进行沟通，了解电解槽实际情况并通过合理调整变压器有载开关的档位将电流控制住，实时电流电压的峰值不能与生产电流过大和过小，同时在稳流过程中运行人员要清楚整流二极管的重要参数，防止过大的效应电压造成整流二极管的击穿。如果效应电压较小，运行人员应清楚直流反馈情况和控制电流变化情况，较小的效应电压对直流电流的影响不大，但运行人员应引起重视，防止效应电压被扩大对稳流系统的冲击，从而造成电解直流电流的极不稳定，电解槽的运行状态直接关系到整流机组、变压器的运行安全，值班期间值班人员应对稳流系统引起重视，不做与监盘无关的事情。

当电解槽突发情况需要急降负荷时：值班期间，应加强运行人员对电解槽急降电流的应急预案的培训，应清楚电解槽急降电流的处理步骤和稳流系统的安全操作程序，熟练掌握稳流界面的操作，要能够正确处理各种紧急情况。电解槽在运行的过程中由于电解槽的某些特殊的情况导致电解槽不能继续运行，需要快速脱离系统，由于铝电解槽都是串联运行，这就需要运行人员快速响应电解电流需求，将电流紧急控制，如果不能执行到位或造成延长事故时间，将会引起电解槽供电直流母线事故停电或人身安全事故，严重会导致生产停产。执行突发紧急降电流时运行人员首先应快速并准确确认和核实现场实际情况，核实情况后立即向上级单位进行申请并说明紧急原因，说明需要执行的负荷和时间，在得

到上级许可后运行人员应及时通知生产单位和现场调度，正确执行降负荷操作。降负荷过程中应控制好整流机组的电流输出和变压器有载开关档位，防止出现单台机组过流的情况，避免出现甩负荷事故。降负荷过程中应做好现场检查确认，现场人员应仔细检查整流机组，确保整流机组能够正常恢复负荷。恢复整流机组负荷时确保电流给定和变压器有载档位要相互匹配，确保各台整流机组电流平均分配，防止出现整流机组跳闸事件或者甩负荷事故<sup>[3]</sup>。

当电解槽突发情况需要急停时：电解槽运行中发生较为严重设备安全事故或者其它需要急停的情况，运行值班员需要立即做好急停整流机组的准备，通过一些途径确认现场突发情况，并做好记录，在确认突发情况急需要急停时，由运行人员按下整流机组总急停按钮，确认所有整流机组已全部调整，切断电解槽直流供电。并与上级领导和部门做好汇报。将书面材料或者详细情况说明报给当地供电局。运行人员要做好整流机组送电前的检查和准备，确保所有整流变压能够正常后，根据生产现场情况及公司调度的要求向当地供电局申请恢复电解槽直流电流。

### 5 开环调节下整流机组分调控制方式

分调控制方式的稳流控制，总控制PLC在被退出状态，电流给定调节只能通过单台整流机组稳流PLC进行，这种控制方式存在一定的优缺点。

缺点是：电流调节不会自动分配：系统中某一台机组减少或增加的电流，不会自动分配至其它运行机组，要使电解槽直流电流不变，必须手动调整各台机组的输出，在这台机组上减少多少的电流，就必须在其它机组上手动增加电流。电流的不平衡性：从总直流传感器采集的电流存在极具不平衡，较大的电流波动或者操作不当可能会给电解槽或整流机组带来运行风险，在正常

运行中也可能因为某一种原因造成各台机组的电流不平衡，同时也给整体升降电流操作带来操作的不方便且调整时间过长，需要运行人员具有较强的专业水平。应急处理的局限性：分调模式下由于电流控制是通过单机组PLC进行，不能实现电流大幅度调整，需要对每台机组分别调整<sup>[4]</sup>。

优点是：大幅度甩负荷的可能性较小：对不满足n-1的运行方式来说，选择在分调模式下对生产工艺影响较小，从理论上来说不至于出现某一台、某几台机组跳闸而导致整个系列失电，可以保证正常机组输出电流不受影响，负荷变比对电网的冲击较小，不中断电解槽电流的供送可以避免造成停电风险。

### 结语

通过对供电系统种对电解铝直流电流的稳流控制的重要性，直流电流的控制逻辑和复杂性，变电站运行人员在正常的监控直流电流的过程种的注意事项，以及电解槽发生异常情况和紧急情况的处理方法进行了一系列的分析和探讨。突显了在电解铝行业中对电解直流电流的控制的重要性，同时体现了稳流系统的成熟度关系到电解槽的使用寿命和生产工艺的正常稳定运转，我们在工作中应高度重视，各级管理人员应加强培训，不断提高工作人员的技术水平。

### 参考文献

- [1]陈祉丞.大电流整流系统稳流控制策略研究[D].大连海事大学,2019.DOI:10.26989/d.cnki.gdlhu.2019.001011.
- [2]唐海峰.PLC在电解铝整流系统中的应用[J].河南科技,2011,(16):65.
- [3]牛玉娟.河南中孚300KA级铝电解稳流控制系统的研究与应用[D].中南大学,2010.
- [4]汪璟.整流机组稳流装置改造[J].中国有色金属,2010,(11):68-69.