

# 电网状态估计调试方法及典型故障处理

嵇文路

(南京供电公司, 江苏 南京 210019)

**摘 要:** 作为在线分析的核心支撑环节, 状态估计的准确和高效运行起着至为关键的作用。本文对南京电网调度自动化系统状态估计模块的调试与维护方法进行了系统性的归纳和总结, 并且分析了一些典型的故障处理方法。

**关键词:** 调度自动化; 状态估计; 调试方法; 典型故障处理

国家电网公司电力调度控制中心从 2013 年开始持续开展调度自动化系统基础数据整治工作, 并且将状态估计遥测合格率作为电网运行的一项重要的重要的同业对标指标。而状态估计软件功能的高效和准确运行, 则是提升电网设备参数和实时数据准确性的重要手段。本文对南京电网调度自动化系统状态估计模块的调试与维护方法进行了系统性的归纳和总结, 并且分析了一些典型的故障处理方法。

## 1 状态估计软件的主要模块

在调度自动化系统的状态估计软件中, “预处理信息、电气岛/迭代信息、可疑数据、量测一览、伪量测信息、量测控制”这几个模块是我们二次系统维护人员在日常维护工作中最需要重点关注和最常使用到的模块。对于这些模块, 当状态估计不收敛时先检查电气岛/迭代信息; 当状态估计收敛时, 可以按照检查可疑数据、预处理信息、量测一览这样的顺序来分析状态估计结果。必须注意到, 对同一个状态估计量测错误, 上述模块都可能反映并窥出端倪, 所以查看电网的状态估计结果并进行维护时, 对这些模块的使用顺序没有绝对的先后, 可以根据个人的习惯来灵活使用。

调度自动化系统系统的状态估计预处理是提高精度的重要环节。如遥测、遥信一致性核对, 遥测预处理结果分类警告表, 且可人工跟踪操作, 屏蔽不合格量测。状态估计预处理包括遥测量控制、遥信量控制、可疑数据报告等。

遥测(YC)量控制: 当发现某厂站、线路、变压器或发电机测点明显有误时, 可屏蔽该测点, 提高状态估计精度。另外, 还可对不理想量测点权值

设置降低达到改善状态估计精度目的。

遥信(YX)量控制: 通过遥测预处理警告表, 及时发现有误遥信并校核, 必要时进行遥信对位, 确保电网运行方式正确性。通过对遥信量的及时维护, 可保证网络拓扑分析软件得到一个相对准确完整的电实时信息。

而产生可疑数据的主要原因有: 通道故障引起远动信息故障; 遥信与实际不对应; RTU 故障或 YC、YX 信息错误; 冲击负荷影响。

### 故障排除案例 1:

故障现象: 三汊湾变画面实时遥测、遥信数据不刷新。遥测合格率下降到 99% 以下, 检查厂站工况 101、104 通道均正常。

采取措施: 将三汊湾变 104 通道切换到 101 通道后, 画面实时遥测、遥信数据正常, 经检查后发现前置机上 tcp\_client 进程死掉, 杀掉该进程后, 该进程自动重启, 将通道切换回 104 通道, 画面数据正常, 遥测合格率恢复到 99.5% 以上 (见图 1)。

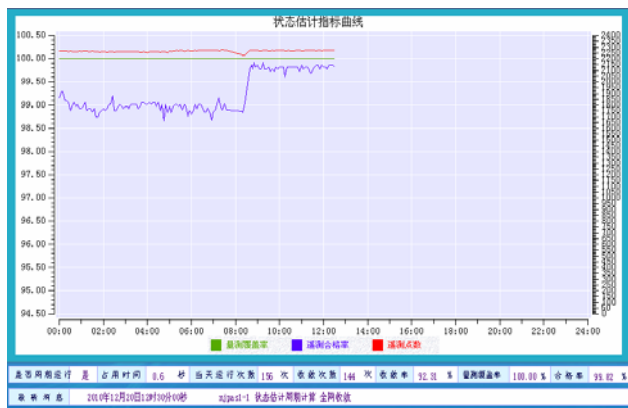


图 1 三汊湾变 104 通道故障处理前后遥测合格率曲线

分析及结论: 主站前置机相关应用程序、通

道、变电站 RTU、变送器、遥测板等装置或者程序的异常都会导致实时量测不正常，同样会导致状态估计的遥测合格率下降。合理的使用状态估计软件，可以及时发现电网实时量测、通道、拓扑的异常。

## 2 有功发散的调试与故障处理

有功发散的调试在出现有功发散时，应从以下几个方面进行检查调试：

(1) 检查线路、主变参数，是否存在很小的电抗（如标么值小于 0.001）。在调度自动化系统中，可以对数据库中线路和主变的电抗标么值进行排序来查找；

(2) 检查线路、主变参数中是否有电阻远远大于电抗的情况，调度自动化系统在网络建模时已经对该项工作进行了预处理，如果线路、主变的电阻远远大于电抗会提示设备参数异常；

(3) 检查拓扑分析结果，网络建模是否合理，是否由于遥信错误导致系统出现不合理的活岛。调度自动化系统可以在状态估计后自动分析出系统的电气岛，如果估计结果显示活岛过多，很可能是遥信的量测有误，必要的情况下可以先将孤立电气岛的厂站排除来确保状态估计收敛；

### 故障排除案例 2：

故障现象：状态估计调试阶段发现状态估计可用率（与状态估计是否收敛有关）不稳定，时常发生状态估计不收敛的情况，在状态估计不收敛时进入电气岛/迭代信息模块发现“经港变”连续发散；

采取措施：对照 SCADA 和状态估计量测结果发现港尧#1 线差别较大，且该线路在经港、尧化门两端的量测不平衡，进入数据库检查经港变的线路、变压器和无功设备的参数都正常，而且它们是按照线路来建模的，检查原始图纸显示实际上它们实际上是 T 接线，但 T 接线的第三端用户侧量测没有提供给调度。

分析及结论：这是由于 T 接线路没有正确建模导致的状态估计错误乃至不收敛，至于 T 接线路按照两端线路来建模是因为第三端无量测。解决办法是：将港尧#1 线按照负荷来建模，这样就不存在线路建模时的量测不平衡的情况。重新节点入库——模型验证——模型复制——状态估计，结果正常且状态估计不再发散。

关键点：如果节点入库存在严重错误类型，则

生成的电网模型不可以复制给状态估计。模型验证严重错误包括：不同厂站或不同电压等级的设备端子相连接；非法参数。如果提示一般警告，最好逐一检查，然后再复制模型给状态估计，警告类包括：端子空挂、参数不正常、设备未入库。虽然警告不影响入库，但还是建议即使验证结果中只有“警告”，也应该仔细检查“警告”的内容，确认没有问题后再选择“确定”继续入库。

(4) 检查是否有大片的不可观测区。正常的 SCADA 量测不应该有大片的不可观测区域，如果有，很可能是遥信、遥测的量测有误；

(5) 检查外网等值是否合理，与外网的联络线通常需要等值为发电机，外网等值机所连接的开关闸刀是否合上；

(6) 检查内网是否有发电机投运，相关的开关闸刀是否合上。

(7) 因为状态估计的结果可能受到不良数据的污染甚至扭曲，因此对具体设备推荐按照从高电压等级到低电压等级的顺序来调试并排除故障，当高电压等级的故障排除后，低电压等级的故障很可能也就不存在了。

可以根据状态估计迭代信息，找到全网最大相角偏移的母线，检查周边的线路参数、量测，或者可以通过设置伪遥信将此母线以及所连接的设备从主网中分离，通过这种方法找到电网模型中有问题的部分。

## 3 无功发散的调试与故障处理

如果出现无功发散，可以先进行上节所述的有功发散的调试工作，同时还可以从以下几个方面进行检查：

(1) 检查变压器额定电压参数、档位参数、档位量测有错误，尤其是系统中电压最高（最低）的厂站中的主变，即根据状态估计迭代信息找到系统电压最高的厂站。特别要注意绕组额定电压与所属的电压岛的电压是否一致；

(2) 检查电容器的额定电压、额定功率等参数是否有误，可以逐一查看电容器周边是否有无很大的、不合理的无功；

(3) 检查 500 kV 线路的充电无功是否有误。通常 500 kV 高压线路的充电无功很大，所以输入参数时电纳一定不能忽略；在 500 kV 线路两端通

常有高抗、在 500 kV 主变的 35 kV 低压侧有低抗来吸收无功，要检查这些电抗器是否建模，相关的开关闸刀状态是否正确；

(4) 根据状态估计迭代信息找到全网最高、最低电压的厂站，检查该厂站周边的线路参数、量测是否有误，或者可以通过设置伪遥信状态或排除该厂站的方法将此厂站从主网中分离，以次来找到电网模型中有问题的部分。

#### 4 提高有功状态估计合格率的调试方法

(1) 检查设备参数是否录入有误。若母线上除一条线路外的其它的出线状态估计结果基本正确，则不一致的该线路的参数可能有误；若双回线上的估计结果与实际不一致，则双回线参数可能有误；若并列运行的两台主变计算出的有功与量测不一致，则主变的阻抗参数可能有误；

##### 故障排除案例 3:

故障现象：状态估计后，在可疑数据模块发现东善桥变中压侧有功不正常，量测一览模块发现东善桥变电站有多个测点量测不合格；

采取措施：使用厂站量测控制排除该厂站后，量测合格率有较大提高；

分析及结论：初步怀疑是该厂站的网络建模存在问题，核对变压器参数发现#1、#2 主变中低压测参数填错，参数更正后进行模型验证——模型复制——量测控制添加该厂站——重新状态估计，状态估计合格率比第一次状态估计有较大提高。因此确定是参数问题导致的状态估计结果不正常。

(2) 检查是否网络拓扑和模型参数有误。包括新建厂站、变更设备未及时入库，这可以通过检查设备是否有节点号或者相邻设备间节点号是否一致来判断，如果相邻设备间节点号不一致可能是设备电压等级设置错误或者存在虚连接；

(3) 检查前置遥测定义表中量测量的极性、系数是否有误，同一电压等级的相似设备的有功、无功、电流的量测系数常常是一致的；

(4) 检查线路两端的潮流有功、无功的数值与符号是否匹配，检查是否有量测置反、屏蔽等操作，这一工作可以通过量测粗检测进行；

(5) 检查变压器的高、中、低侧量测值符号是否正确，有功、无功是否平衡，在调度自动化系统中主变有功不平衡等表格中会自动列出；

##### 故障排除案例 4:

故障现象：状态估计量测一览模块发现盘城变中压侧有功不合格，对照#1 主变三侧量测发现有功不平衡，检查遥测预处理发现 220kV I 段母线有功不平衡；

采取措施：因此初步判断#1 主变中压侧量测有误，在量测控制模块排除该测点的有功后，重新进行状态估计，该测点状态估计合格。

分析及结论：与监控联系后确定这是由于厂站端变送器故障导致的量测结果不正常。经联系变电检修更换变送器后，在量测控制模块添加该测点重新状态估计后结果正常。

(6) 检查母线注入和流出是否有不平衡，在调度自动化系统中有功、无功流入母线取值为负、流出母线取值为正。这一工作可以通过量测粗检测进行检查；

(7) 检查有无遥测不刷新、遥测明显错误等情况，然后进行人工屏蔽。状态估计中利用的有功、无功是成对的，因此如果某个量测被屏蔽，则其成对的量测也会被自动被屏蔽；

(8) 检查遥测、遥信之间的对应关系，是否有遥信断开、但遥测值不为零的情况。检查死岛的遥测、遥信状态是否正常，可能因为遥信状态错误而判定为死岛；

(9) 检查被量测设备电流、有功、无功之间的比例关系。同一电压等级情况下电流、有功数值之间存在一定的比例关系。不同电压等级的电流之间的也存在着类似的比例关系；

10) 检查母联开关的分合状态。如果为分，则检查双母结构中各条出线、主变的正副母闸刀位置是否正确；

(11) 检查有无母联开关分、但线路和主变的正、付母闸刀均合上（双跨）的情况。这可能是双母线分列运行，其电压、相角不同，但是由于闸刀位置错误导致错误合环，计算结果错误。可以通过对比这样的两条母线的电压量测是否完全相同来判断是否错误合环，并对错误的闸刀位置进行纠正；

(12) 检查有无母联开关合，但是其两端所连母线的电压量测相差较大的情况。检查母联开关是否错误的合上。可以检查 SCADA 中母联开关是否有潮流来判断母联开关的运行方式；

(13) 检查有无线路、主变被旁路代的情况。

如果有，检查旁路开关和线路的旁路闸刀是否状态正确。可以通过检查 SCADA 实时画面中旁路开关是否有潮流来判断是否有旁路代；

(14) 检查低压 (35 kV, 10 kV) 负荷计算是否正确。状态估计把母线上所有的负荷合并为一个注入量，得到总的母线注入负荷后再分配到各个实际的物理负荷上，其分配办法如下：如果物理负荷有 P、Q 量测则按照 P、Q 量测的比例分配，如果只有电流量测则按照电流值的比例进行分配。如果 P、Q 量测都没有或不可用，则按照负荷输入的额定容量进行分配。当上述条件都不满足时，可能出现负荷无法分配的情况，导致负荷的计算不正确；

(15) 对有大量不合理的有功流动的线路，检查线路的开关是否为错误的遥信合位，进而导致了两个相角相差较大的节点合在一起。

## 5 提高无功及母线电压状态估计合格率的调试方法

通过有功调试后，基本上系统中的开关、闸刀的状态已正确。有功调节的方法也都适用于无功的调节，无功调节还需要另外考虑的是：

(1) 检查估计得到的主变无功是否与量测偏差较大。估计结果中是否出现了无功环流。如果有，则要检查并列运行的双主变档位参数，并检查档位量测与档位估计结果是否一致；

### 故障排除案例 5：

故障现象：状态估计的量测一览模块发现东善桥变电站三台主变中压侧无功状态估计不合格，检查参数正确，且该站三台主变参数接该站三台主变并列运行，检查主变档位发现#1#3 主变置于 10 档，#2 主变档位置于 3 档，怀疑档位不正确。

采取措施：在状态估计的伪量测信息模块下对 #2 主变档位人工伪遥测置于 10 档，重新进行状态估计后结果正常。

分析及结论：因此，对怀疑不正确的 SCADA 量测，可以在状态估计的人工伪量测模块下进行人工伪量测设置，以提高状态估计合格率。如果对设备的运行状态或量测有怀疑，应联系变电检修和监控中心进行确认。

(2) 检查估计得到母线电压值是否与量测值偏差较大。如有偏差，则要检查是否主变参数和档位有问题。主变档位对系统无功、电压有较大的影

响，调度自动化系统可以实现对主变档位的估计，计算时应尽量采用估计档位，即利用主变周围的有功、无功、电压量测对档位进行校验；

(3) 对于档位不可估计的绕组，检查量测值或人工置位是否正确。尤其是中压侧绕组，一般分接头没有量测，需要根据低压、中压绕组母线电压的关系设置合理的档位。(一般的地区电网，中压侧分头不调，都放在中间档)。如果档位量测错误或档位无量测，这时又不能估计档位，就必须人工设置正确的档位；

(4) 检查电容器开关遥信状态是否正确。因为状态估计中没有取用电容器的无功量测，因此电容器开关的状态一定要正确。如果电容器无功计算值不合理，则检查电容器参数；

(5) 检查高压线路 (尤其是 500 kV 线路) 的充电无功是否正确计算。220 kV 以上的线路会有充电无功，在进行无功分析时要考虑进来。500 kV 高压线路的充电无功很大，南京电网的 500 kV 线路通常达到几十兆乏，电网中常在 500 kV 线路端点或 500 kV 主变低压侧 (35 V 侧) 均连接电抗器来吸收无功。检查这些电抗器是否建模，相关的开关闸刀状态是否正确，线路上的充电无功是否被合理地吸收。

另外，对有大量不合理的无功流动的线路，需要同时检查线路两端的电压是否与量测相符。这里可能是由于线路或母联开关遥信错误地合上，进而导致错误合环，以致两个电压相差较大的母线合在一起。

## 6 南京电网调度自动化系统状态估计模块的运行状况

南京电网所辖 35 kV 以上变电站 270 座，主干网由 220 kV 线路组成，调度自动化系统目前遥测量 3 万条，遥信量 9.6 万条。作为系统核心软件的状态估计模块，实时计算周期为 5 min，迭代精度为 0.0001，量测覆盖率 100%。状态估计担负着为其它高级应用软件提供准确系统实时运行状态数据断面的重要任务，规程要求全系统的遥测合格率达到 95% 以上才能准确反映系统的实时运行状态。

南京调度自动化系统状态估计模块从量测接入后经过一系列调试和试运行，状态估计遥测合格率逐步提高，目前月遥测合格率已经稳定在 99.00%

以上。

## 7 结论

在调度自动化系统 PAS 模块的应用实践中,我们总结出了以下状态估计调试工作的相关建议:保证状态估计的高精确和可靠性运行,良好的调试方法是关键,无论状态估计是否收敛,都不要急于从局部来进行调试,而是要从整个系统的高度,从建模范围合理、拓扑关系是否正确、元件参数和实时量测是否正确等多方面来进行综合分析,才能达到事半功倍的效果。

最后需要说的是,状态估计合格率下降存在多种原因,也存在一定的偶然和突发性,因此二次系统维护人员的责任心和及时维护是保证状态估计合

格率的重要保障。

### 参考文献:

- [1] 李碧君,薛禹胜,顾锦汝,等.抗差估计理论及其在电力系统中的应用[J].电力系统自动化,1999, 23(1): 57-60.
- [2] 郭伟,单渊达.M 估计方法及其在电力系统状态估计中的应用[J].中国电机工程学报,2000, 20(9): 26-31.
- [3] 李响,刘玲群,郭志忠.抗差最小二乘法状态估计[J].继电器,2003, 31(7): 50-53.

### 作者简介:

嵇文路(1974—),男,江苏南京人,高工,工学博士,  
研究方向:调度自动化、配电自动化。