

汽包锅炉水位计偏差原因分析及校正方法

曾幻麒

大唐惠州热电有限责任公司 广东 惠州 516123

【摘要】：汽包水位是余热锅炉安全稳定运行的核心监控参数，水位测量精度直接影响锅炉汽水系统调节、保护动作及机组运行经济性。本文以 MHDB-M701F4-Q1 型三压再热无补燃卧式自然循环余热锅炉为研究对象，结合机组实际运行工况，系统分析汽包水位计运行过程中测量偏差的产生原因，涵盖设备结构、工况参数、安装运维、环境因素等多个维度，针对性提出标准化校正方法与长效优化措施。结合现场实测案例验证校正方案的有效性，有效解决高低压变工况下水位测量失真问题，可为同类型余热锅炉水位测量运维工作提供技术参考。

【关键词】：汽包锅炉；水位计；测量偏差；校正方法；余热锅炉

DOI:10.12417/2705-0998.26.12.042

引言

现代燃气-蒸汽联合循环机组配套的余热锅炉大多采用三压再热自然循环结构，高、中、低压汽包分别设置多套水位测量装置，包括内置式单室平衡容器、差压变送器、电接点水位计和无盲区双色水位计，构成冗余测量系统。汽包水位异常会造成汽水循环失衡、受热面干烧、蒸汽品质超差等状况，严重的时候还会引起锅炉保护跳闸，造成机组非计划停运。实际运行时，锅炉负荷变化、汽包压力温度变化、管路散热、安装偏差、运维不善等都会造成水位计测量值与实际值之间出现偏差，高低负荷工况下的偏差特点存在较大差别。准确找到偏差原因并执行标准化校正程序，这是保证汽包水位测量准确、机组安全稳定运行的重要环节。本文以东方锅炉厂 MHDB-M701F4-Q1 型余热锅炉运行数据为基础，对水位计偏差机理进行全方位的分析，并对现场校正工艺进行改进，提高水位测量的可靠性。

1 设备概况与水位测量原理

1.1 锅炉及水位测量设备参数

本次研究对象为 MHDB-M701F4-Q1 型卧式自然循环余热锅炉，采用三压再热无补燃设计，半露天布置。锅炉设置有高、中、低压三个独立汽包，每个汽包都装有完整的水位测量装置，一套系统包含三个内置式单室平衡容器、差压变送器、一套电接点水位计和两个无盲区双色水位计，既可以满足运行监视的要求，又可以满足自动调节和保护联锁的要求。各个汽包额定工况水位容错时间不同，高压汽包正常水位到低低水位的时间为 3min，中压汽包为 8min，低压汽包为 12min，对水位测量的响应速度和精度要求很高。各个汽包的主要运行参数见表 1。

表 1 各个汽包的主要运行参数

汽包	高压	中压	低压
工作/设计压力 MPa	16.89/17.84	3.68/3.9	1.04/1.1
工作/设计温度℃	352.3/360	247/255	185.7/205

外直径 mm	1980	1680	3050
厚度 mm	90	40	25
直段长度 mm	15130	11500	14200
材料	13MnNiMoR	Q245R	

1.2 水位测量核心原理

锅炉汽包主要的测量方式是差压式水位测量，依靠单室平衡容器和差压变送器共同工作。平衡容器采集汽包内汽水侧压力信号，经引压管路将压差信号传到变送器，利用静压力原理把水位高度差值转换成标准电信号，上传到 DCS 系统实时显示和逻辑控制。

在理想工况下，平衡容器参比水柱的密度、汽包内汽水介质的密度是恒定的，测量差值只和实际水位有关。但是机组在实际运行中由于负荷升降、环境温度变化、介质相变等因素的干扰，会使压差信号失真，从而造成测量误差。双色水位计和电接点水位计主要用作就地监视和冗余校验，容易受到透光污染、电极结垢、温度应力的影响而产生显示偏差。

2 水位计测量偏差核心原因分析

2.1 介质参数动态变化引发的原理性偏差

差压式水位测量的基本计算逻辑是固定介质密度的设定，余热锅炉变负荷运行时，汽包压力、温度不断变化，使饱和水和饱和蒸汽的密度发生变化，是造成测量误差的主要原因。机组升负荷时汽包压力迅速上升，饱和水密度变小，饱和蒸汽密度变大，在同样的实际水位下，差压变送器所测得的压差变小，系统显示的水位偏高；降负荷时参数变化相反，测量水位偏低。低压汽包具有除氧水箱的作用，除氧用水、给水温度的变化都会使内部介质的状态更加紊乱，与高中压汽包相比，其密度的波动幅度更大，水位测量的偏差也更明显。同时低压省煤器再循环管路启停会引起给水温度的变化，从而影响到低压汽包的汽水工况，进而加大测量误差。

2.2 平衡容器与管路系统误差

平衡容器是差压测量的关键部分,工作状态好坏直接影响到测量精度。露天布置的锅炉设备,平衡容器和引压管路长时间处于外界环境中,散热效果明显,使管路内参比水柱温度低于汽包内部饱和水温,参比水柱密度大于设计值,造成测量水位一直偏高。环境温度越低、管路保温破损越严重,偏差数值就越大。

引压管路内有积水、积汽、堵塞或者泄漏都会影响到压差信号的传递稳定性。管路积水会造成压差信号滞后,积汽会造成信号波动,管路轻微泄漏会造成压差衰减,最后导致水位显示失真。另外,平衡容器安装水平度超差、取样接口偏移都会造成参比水柱基准高度偏移,产生固定值测量偏差。

2.3 设备本体及运维偏差

水位测量设备长时间工作后,会因为各种原因造成部件老化、性能下降的现象。差压变送器零点漂移、量程偏移,电极结垢、腐蚀会造成电接点水位计触点接触不良,玻璃盘面结垢、透光率下降会造成双色水位计就地显示模糊、读数偏差。

运维操作不规范属于偏差产生的主要人为原因。设备检修完毕后没有完全排空管路空气、没有准确校验零点和量程、定期排污不彻底造成管路杂质堆积、变工况运行前没有及时进行参数补偿都会引起水位测量误差。部分运维人员不能区分不同的压力汽包的校正标准,用固定的校正参数代替,使测量精度降低。

2.4 工况波动与系统干扰偏差

余热锅炉的烟气流量、温度会随着燃机负荷的变化而变化,锅炉在升降负荷的时候,汽包内部的汽水剧烈扰动会产生虚假水位。升负荷时蒸汽产量突然增大,汽包内的汽水混合物膨胀,水位出现虚假升高现象;降负荷时汽水收缩,水位出现虚假下降的情况,在高低负荷切换的时候比较明显。

同时锅炉排污、给水调节阀调节、减温系统投退等操作,会暂时改变汽包进水、出水和蒸汽产出的平衡,引起水位瞬间波动,超出常规补偿范围,造成短时间内的测量误差。

3 标准化校正方法与实施流程

3.1 校正前期准备工作

校正工作应在锅炉负荷稳定、工况平稳时进行,避开升降负荷、排污、系统切换等操作。提前检查各水位测量设备的外观、管路保温、阀门状态,修复破损保温层,紧固泄漏接头,清理双色水位计盘面污垢和电接点电极结垢。检查平衡容器、引压管路无堵塞、无积水积汽,做好设备隔离和安全防护工作。提前获取汽包的实时压力、温度参数,并且与该工况下对应的介质密度补偿系数相匹配。

3.2 差压式水位计精准校正流程

先做零点校正,关闭汽水侧一次阀门,打开平衡阀,使差压变送器高低压侧压力相等,数值稳定后进行零点校准,消除零点漂移偏差。其次进行量程校正,根据各汽包额定工况参数模拟满水位、零水位工况,核对变送器输出信号和DCS显示数值,修正量程偏移误差。重点对变工况密度补偿进行校正,根据汽包实时压力温度获取饱和汽水密度参数,修正平衡容器参比水柱密度偏差,用DCS系统优化补偿逻辑,达到不同负荷下动态准确补偿的目的。根据低压汽包除氧工况的特点,单独设置除氧投运、停运两种模式的补偿参数,消除除氧用汽造成的测量干扰。

3.3 就地水位计校正方法

双色水位计用校正后的差压水位计数值作基准,微调水位计安装支架和读数刻度,消除机械安装偏差。清理玻璃内壁的污渍和水汽,保证透光均匀,使就地读数和远传数值一致。电接点水位计用绝缘检测、电极阻值校准、更换老化腐蚀电极、修正信号采集误差来保证接点动作准确、水位分层显示准确。

3.4 异常偏差专项校正处理

对于由于管路散热造成的系统性偏高偏差,用全程保温优化校正,给平衡容器和引压管路加装保温棉,减小环境温度对参比水柱密度的影响。对于由于负荷变化而引起的动态虚假水位问题,改变DCS补偿逻辑,增大负荷变化速率阈值以阻断瞬态波动影响,保证有足够好的水位变动信息。对由于管路堵塞、泄漏造成的信号异常进行彻底的排污吹扫,排尽管路中的杂质和积汽,使压差信号的传递准确。

4 工程案例与效果验证

4.1 案例机组故障概况

本次工程验证采用的是某燃气联合循环电厂MHDB-M701F4-Q1型三压再热卧式余热锅炉。机组在日常运行过程中,中压汽包水位测量系统存在持续性的偏差,远传差压水位计和就地双色水位计的读数不能相匹配,数据偏差一直超标。现场巡检及DCS后台数据统计表明,在机组不同负荷区间内水位测量误差都在9mm~12mm之间,远远大于机组运行规程规定的5mm的允许偏差范围。造成汽包水位自动调节频繁波动,调节精度降低,机组为了规避保护误动作的风险,一度降低了自动投入率,使用手动干预的方式控制水位,增加了运行人员的操作强度,并且存在蒸汽带水、受热面工况异常的安全隐患。

4.2 偏差原因排查分析

为了找出偏差的原因,根据前面偏差机理,对机组中压汽包水位测量系统逐项进行检查。首先检查设备的硬件状况,发现水位取样引压管路局部保温层破损脱落,管路裸露在外面,

环境散热造成参比水柱温度偏低，产生固定系统偏差。另外对差压变送器做离线校验发现，由于长期使用造成零点漂移的现象比较明显。最后检查控制系统参数，发现机组 DCS 系统水位补偿参数为固定定值，没有根据机组升降负荷过程中汽包压力、温度的变化情况实时修正，变工况下密度补偿失效，动态测量偏差不断增大。排除管路堵塞、介质泄漏、电极损坏等故障后，最后发现偏差是由保温缺陷、设备零点漂移、静态参数补偿这三个原因引起的。

4.3 现场校正方案实施

根据设备故障特征以及本文所提出的标准化校正流程，提出相应的整改方案并落实到具体的操作中去。一是对中压汽包平衡容器和全部引压管路进行耐高温防水保温层的重新铺设，消除由于环境散热造成的参比水柱密度偏差，保证参比水柱工况稳定。二是对变送器进行准确的校验，在机组稳定负荷工况下做零点校准和全量程复核，消除设备固有的漂移误差，保证压差信号采集准确。三是优化控制系统逻辑，删除原来的固定补偿参数，加入压力、温度联动的动态补偿模型，适应中压汽包变工况运行的特点，实现全负荷段汽水密度的实时修正。四、就地和远传水位计进行对标校准，清洗双色水位计盘面污垢，统一就地读数数和 DCS 远传数值基准。

4.4 校正效果数据对比分析

整改完成之后，在机组百分之五十、百分之七十五、百分之百典型负荷工况下进行水位测量精度测试，得到校正前后测量偏差数据，具体的对比结果见表 2。

表 2 具体的对比结果

机组负荷%	校正前偏差 mm	校正后偏差 mm	允许偏差 mm
50	10.2	2.1	5
75	12.0	2.8	5
100	9.5	1.9	5

4.5 长期运行稳定性验证

从测试数据可知，整改前机组全负荷区间水位测量偏差均大于规范标准，在中高负荷工况下最大偏差达到 12 毫米。分层校正和系统优化之后，各个负荷段的测量偏差大大降低，全部控制在 3 毫米之内，满足机组安全运行精度的要求，校正效

参考文献：

- [1] 黎嘉骏,严清平,曾南.锅炉汽包差压水位计补偿与三冲量控制[J].纯碱工业,2025,(6):19-21.
- [2] 辛俊强,赵泾平.CFB 锅炉汽包差压水位计误差分析及研究治理[J].电力设备管理,2025,(5):52-54.
- [3] 潘龙,宋婧菡.浅谈锅炉汽包液位的测量与控制[J].电站系统工程,2024,40(4):37-39.
- [4] 李斌.锅炉水位计的变化与发展[J].品牌与标准化,2023,(S1):128-130.
- [5] 蒋丙献.启动锅炉汽包水位计故障分析及改造[J].青海电力,2021,40(3):58-60.

果明显。为了检验方案的有效性，对整改后的机组进行三十天的连续跟踪监测。运行数据显示中压汽包水位测量数值平稳无异常波动，就地设备和远传数据一直保持一致，水位自动调节系统全程稳定投入，调节响应速度和控制精度明显提高。机组没有出现水位失真、调节异常、保护误动等任何问题，彻底解决了原测量偏差的问题，证明了本文所提出的校正方法和优化措施是可靠的、实用的。

5 长效优化与运维保障措施

5.1 设备结构优化

平衡容器及引压管路实行标准化的保温改造，用耐高温防水保温材料全面覆盖，不留死角，减小环境温度的散热影响。选择无汽水扰动的地方进行取样，使取样的信号稳定。定期更换老化引压管路、密封接头，防止漏、堵。

5.2 运维制度标准化

建立周期性校验制度，每月对水位计零点和偏差进行专项校验，每季度对全量程校准和密度补偿参数做全面的复核，在机组大小修期间把全部测量管路和电极部件拆解清洗。规范启停操作流程，锅炉启停、负荷大幅调整前后，提前核对水位测量数值，及时修正动态偏差。严格按照排污制度，定时对水位取样管路、平衡容器排污，防止杂质积聚造成测量误差。

5.3 控制系统优化升级

优化 DCS 水位补偿逻辑，取消固定的补偿参数，建立压力温度联动动态补偿模型，实时对接各个工况下汽水介质密度，剔除原理性误差。增加水位偏差预警功能，当有多台水位测量装置存在偏差大于设定值的时候，发出报警信息告知运维人员尽快进行处理，避免因测量不准确造成运行安全问题。

6 结论

余热锅炉汽包水位计测量偏差是由介质参数变化、设备工况、安装运维、环境干扰等多方面因素共同作用所导致的，变工况下汽水介质密度波动、管路散热偏差、设备零点漂移是主要原因。本文根据 MHDB-M701F4-Q1 型三压再热余热锅炉的设备特点，建立了分层分类的标准化校正流程，用零点量程校准、动态密度补偿、管路运维优化、就地设备整改等方式可以有效地消除各种测量偏差。