

天津翔悅

天津翔悅密封材料有限公司



弗莱希波·泰格
金属波纹管有限公司



温州环球阀门制造有限公司



北新集团建材股份有限公司

汽包水位监控保护测量系统配置优化

淮安维信仪器仪表有限公司

高维信

【摘要】：简析汽包水位运行监控任务与需求、测量装置现状。重点分析在用监控保护一次测量系统优化配置问题，优化配置思路。

【关键词】：汽包水位； 监控保护； 一次测量； 配置优化

在目前技术条件下，充分满足汽包水位运行监控需求，可靠防止大型锅炉汽包满缺水重大事故，难点在于汽包水位测量系统，更确切的说，在于一次测量系统。

汽包水位参数的特殊性决定了准确稳定测量的困难性。至今尚未研制出一种仪表能很好满足监视、自动调节、保护（包括水位高低停炉、联锁及热工信号报警）三个功能子系统的性能要求。为了提高汽包水位监控保护大系统准确性和可靠性，采取“化难为易”的策略，针对每个子系统对测量仪表性能的不同需求，研制出不同种类的汽包水位表，形成在用仪表的多样性。这就要求监控保护系统设计，根据现有仪表的性能状况优化配置子系统的一次测量系统。但是，优化配置问题未能很好解决，未能充分满足运行人员监控需求，以致近20年来严重满水和缺水事故仍时有发生，一般性事故、障碍、异常则更多。

1 优化设计应面向运行人员

运行人员安全监控任务是：了解水位大致分布，实时准确监控水位以保证饱和蒸汽品质最优；要经常进行仪表在线分析，诊断指示真假；要根据水位计异常现象诊断汽包内部设备是否异常、燃烧中心偏移等，为预防维修和运行优化提供依据；监视自动调节与保护系统工作状态，如失灵，应及时人工干预，例如，保护拒动时应果断手动停炉；还要完成某些特殊操作监控，例如，停炉后汽包上水操作和满水状态之监视，缺水停炉后及时判断可否补水，尽快恢复运行。人工监视、手动停炉依然是防止严重满、缺水事故设备损坏的重要手段，应设计可靠的手动和自动停炉双重保安系统。要保证监视和手动停炉可靠，则需：主要仪表（基准表）测量准确、稳定、可靠，不需要经常核对与调整；常显示，并醒目直观；仪表彼此偏差小于30mm；仪表量程和分辨率搭配合理，辅助仪表中应有大量程水位表；仪表冗余度高，以保证了解水位大概分布，诊断内部设备运行情况，在线仪表对比快速分析何表准确、何表失常，按“三取二”判据快速确认事故水位而果断手动停炉。

应强调指出，期望靠运行人员现场能力发挥避免事故，无异于把运行人员推到“刀口”上。因此，水位停炉保护实际动作值误差小，保护与报警可靠性极接

近于1，从锅炉点火时保护能可靠投入，保护与自调系统同时退出运行的概率极小。

2 “5套配置”问题

采用DCS后，汽包水位监控保护系统准确性、稳定性和可靠性，主要取决于各个子系统测量装置优化配置和足够的冗余度，冗余信号独立测量设计。

“5套配置”，即“2套就地水位表和3套差压式水位测量装置”，是以差压水位计实现三个功能子系统功能：监视仪表系统，以CRT差压水位计为监视系统基准表（主表），以1个云母（或牛眼）水位计（可带工业电视，即水位TV）、1个配套普通测量筒的电接点水位表为辅助仪表；“三选中”自动调节和“三取二”保护系统信号取自3套差压水位计。不难发现该配置存在一系列问题，与运行人员需求、与一流监控保护系统差距较大。

2.1 监视仪表系统问题

（1）水位计0位偏差大

假定差压水位计一次测量系统完全符合规定要求，压力和环境温度修正参数完全符合测量现场实际，则可在全量程内示值真实。配套的云母水位计（水位TV）和电接点水位计0水位负误差，在压力为18.40—19.60Mpa时可大到150mm，其显示值比差压水位计低150mm。显然3种水位计0位偏差远超过30mm。

为了实现3种水位计0水位一致，降低云母水位计（水位TV）和电接点水位表安装0位，虽能实现其0位定点校正，但在汽包水位高至满水停炉值时读数依然偏低很多，接近缺水停炉值时反而偏高很多，显然会干扰运行人员的事故水位判断，影响手动停炉。

我国电力调度管理对发电机组非计划停运处罚严厉，人员在没有确认事故水位前绝不敢贸然手动停炉。例如，秦皇岛热电厂锅炉重大缺水事故，云母水位计量程小对事故水位判断作用不大，电接点水位表误指示为-300mm，尚未到停炉值，差压水位指示虚高108mm，亦未到停炉值，是未能及时手动停炉的主要原因之一。

（2）差压水位计作为基准表问题多

差压水位计主要缺陷是，测量不稳定，运行中0位易大幅度飘移（即“0飘”）。其原因是：影响单室平衡容器参比水柱平均温度的因素很多，压力与环境温度准确修正技术难度大，实际修正误差较大；正负压脉冲管路稍有温差即产生无法估算的附加差压；一次测量系统的轻微泄漏、管路滞留空气等亦会产生很大附加差压。应指出，热工人员很难诊断出“0飘”原因。运行人员对差压水位计信任度最低。差压水位计能够准确测量是以理想化和纯理论性的结论。在以哪个水位表为准监控水位运行管理上，将其人为“升格”监视基准表（主表），无疑未能面向热工人员，还会使运行人员陷入“差压水位计显示可靠”误区，不利于事故水位诊断。

差压水位计实际测量误差之所以被忽视，是因为没有配套更准的仪表与之

比较，定量揭示“准确测量”的模糊性。某电厂600MW机组亚临界锅炉，在汽包接近额定压力运行时，电接点水位表的负误差计算值约130mm，指示值为-60mm，推算汽包内水应为+70mm。差压水位计应指示+70mm，但实际指示为0水位，表明实际误差为-70mm。

山西阳光发电有限公司（阳泉二电厂）2号炉（亚临界压力、1025t/h）电接点水位表改进配套GJT-2000型汽包水位高精度取样电极传感器（测量筒），为证实取样是否真实，以电极式热偶套代替电极安装在测量筒内，于2002年11月12日，以K分度号I级热电偶测量汽侧、水侧温度，水侧平均温度与汽侧温度偏差不大于2℃，证实电接点水位表测量准确，完全能在全量程范围内、不同压力下准确核对差压水位计。而该炉差压水位计配套单室平衡容器，修正软件为西门子专用软件，在280~300MW负荷时，差压水位计比电接点水位表偏低约15mm；在180MW负荷时，偏低约50mm；在120~130MW负荷时，偏低约100mm。表明汽包压力愈低，误差愈大。可推知，在点火至50MW负荷时，误差大到可使仪表完全失效的程度。

由于差压水位计易大幅度0飘，误差模糊，不得不规定每班要参照云母水位计显示核对0水位，热工人员定期进行环境温度再校正。显然在技术逻辑上与基准表概念矛盾。况且，以误差大的云母水位计为准校核，需按锅炉厂要求降低安装0位，并且只能在额定压力下核定0水位点。很不方便，也难于准确校核。一旦仪表监督失误，将影响安全运行。

显然，选择差压水位计为监视系统基准表(主表)并非最佳配置。

（3）未满足运行特殊监控需求

为保证停炉后汽包上下壁温差不超限，为缩短停炉待检工期，应采取汽包满水冷却措施。没有大量程水位计，单凭经验上水操作，往往上水过高，使较冷的水进入饱和汽联箱、过热器，形成局部热应力集中。有的锅炉在集汽导管与联箱接管座的多道焊缝出现裂纹，可能与此有关。缺水停炉后的事故水位通常在水位计下限以下。运行人员无法知道实际缺水事故值。为了保证锅炉安全和尽快补水恢复运行，一般要由总工程师到现场判断能否补水。办法也只能是足够的等待和凭经验判断，既拖延处理时间，又有一定的冒险性。显然，运行需要量程大于汽包直径的远传水位表，而“5套配置”没有满足这一需求。

有的锅炉配套的大量程电接点水位计只能适用于停炉后，在锅炉运行时测量筒“满水”或“缺水”，必须退出运行，停炉后又须及时恢复测量，很不方便。

2.2 保护信号不独立

由于一些锅炉汽包水位测点过少，被迫采用5套配置设计，必然导致保护与自动调节两系统合用同一变送器，如果信号取样测量系统有问题，将导致两个冗余系统同时“部分”或“全部”失效，形成危险集中，不符和现代控制设计有关规定。

重大反措规定，“锅炉汽包水位高、低保护应采用独立测量的三取二的逻辑判断方式”。《火力发电厂热工自动化设计技术规程DNGJ16—89》6.1.4规定，“保护用的接点信号应取自专用的开关量仪表”。“当前，许多国际标准均要求

控制系统与保安系统分开。AICHE指出，在基本控制系统和安全联锁系统之间应在地理上和功能上分开；IECTC65WG10标准规定，受控设备的控制系统应与安全相关系统及减小危险的外部设施相互分开和独立；ISASP84标准也指出，用于控制系统的传感器不应用于安全系统。美国核工业系统有关规定也指出，安全系统应考虑冗余，冗余系统应相互独立，并在地理上和功能上互相分开”[3]。

2.3 差压式水位保护的问题

采用了DCS技术，水位停炉保护子系统准确性、可靠性取决于测量系统。差压式水位保护问题在于，测量值飘移可能引起保护动作超前（误动）或滞后（拒动）。这不能依靠频繁核对校验予以弥补。差压式保护的水位实际传动试验性能差，试验需在冷态或低压运行状态下进行，与高压运行状态差异较大，只能验证继电信号传动正确性和保护定值准确性，对高压运行时的保护测量值验证是模糊的。况且，在大修前在滑参数停机时，在大修后机组并网后滑参数运行时，升降汽包水位传动校验的风险较大，电厂领导不愿意冒险试验。因此，目前很多电厂没有进行此项试验。

锅炉在冷态点火升负荷阶段，差压水位计不稳定、易“0飘”尤为明显，很多有1025t/h锅炉的电厂不敢贸然投入水位停炉保护，一般要等待负荷升至额定负荷的40-50%时才投保护。不符合“锅炉水位保护未投入，严禁锅炉启动”规定。

显然，差压水位计并非是水位停炉保子系统最优配置。

3 优化配置

3.1 测量仪表的配置数量

汽包水位特点、运行需要、仪表性能现况、控制与保护信号独立测量原则规定，决定了监控保护系统应配置较多的测量装置。对于大型锅炉，尚不能像其它参数监控那样进行汽包水位测量装置简化配置。有资料认为，我国按“5套配置”，“运行10年来尚未发生过由于水位计问题引起的事故”，“数量过多，显示值存在较大偏差，容易给运行人员监视造成混乱”，意在从正反两方面说明“5套配置”最优。其实，未发生事故不等于没有隐患，例如秦皇岛热电厂事故前只是问题未充分暴露而已。“混乱”主因并非是配套多，而是水位计测量误差大和取样干扰不同。

大型汽包长度一般在20m左右，内部过程复杂，水位高低不平，汽、水流分布不均，且变化大，对准确测量干扰大。这就要求按冗余技术实施多点测量保证测量准确性与可靠性。需要较多的仪表才能满足运行要求：了解水位大致分布、内部设备异常诊断，在线仪表快速分析，水位事故时按“三取二”逻辑快速判断、果断手动停炉（与保护自动停炉构成人机双重保安系统），特殊操作与水位事故处理监控。就监视可靠性而言，按照我国运行传统习惯，云母水位计和电接点水位表是必须有的。

“三取二”保护和“三选中”自调系统信号应按“危险分散”原则设计，

仅此就应有6个水位计。

考虑到保护或自调系统水位测量装置可兼用于监视，测量仪表最合宜的数量应是8、9个。

配置较多仪表需要较多的汽包水位测孔。淮安维信仪器仪表有限公司拥有的“汽包与测量装置之间多测孔接管”专利技术，可使在役汽包不必重新开孔而增加独立的水位测孔，一般来说可增加4个在封头的取样点，为各个子系统优化配置、增加测量装置提供了保证^[4]。

3.2 监视仪表系统配置

监视仪表系统和保护系统是优化配置考虑重点，应在现有的仪表中应选择性能最适合的仪表。

不考虑CRT差压水位计为主表是因为：测量不稳定，易“0飘”，在锅炉点火启动、升负荷至额定工况一段时间内测量不稳定尤为明显；不易诊断“0飘”的原因；需频繁核对0位；从人机工程学理论考虑，需要在CRT画面中翻页寻找水位画面，在紧急情况下CRT画面往往变换频繁，可能由于极紧张找不到画面而延误事故处理，因为“有关数据表明，面对危险情况需在60秒内做出正确响应，而运行人员通常在99.9%时间内做出错误反应^[3]”。

电接点水位表，测量原理简单，量程内有水即可稳定测量，检测可信，即便某点显示有误，仍可根据其余点显示判断水位所处区间，常显示，直观醒目。配套最新一代的GJT-2000测量筒的电接点水位计消除了负误差大、传感可靠性低的缺陷^[5]。其新颖的设计使水样温度为饱和水温度，水柱相对标高与汽包内饱和水一致，使电极如同在汽包内检测水位，实现高精度测量，动态响应快，附加误差小。因此，这种电接点水位表可作为监视仪表系统的理想主表，并可用来在较大量程范围内、不同压力下准确核对CRT差压水位计。

配置3套电接点水位表为主表，可充分满足运行人员事故水位判断和果断手动停炉的需求。监视辅助仪表有云母水位计（水位TV）、CRT差压水位计（信号来自调节系统）、大量程电接点水位表。配套GJT-2000B型测量筒的全工况大量程电接点水位表，量程覆盖汽包直径，在停炉后以及锅炉运行时都能和主表一样准确取样。在水位事故被迫停炉时，在主表量程之外可监测到具体事故值，以便事故分析与处理。

3.3 自动调节系统配置

尽管差压水位计测量不稳定，但仍可满足水位自动调节系统功能需求，因为调节系统需要的是水位相对变量，系统有各种保护，一次测量出现大幅度“0飘”时可自动切换为手动调节，小范围的“0飘”引起自调失控的不安全后果较小，运行人员也易于处理。对于现用的单室平衡容器、热套式双室平衡容器（包括正压室带中间抽头的平衡容器），“从目前应用情况看，未出现大的测量问题，只要进行了压力和温度补偿，仍可以继续使用。”^[6]但CRT水位计可显示3点水位，有利于运行监视及仪表诊断，所以也可考虑平衡容器的优化选型。

3.4 保护系统仪表配置

国外汽包水位停炉保护，并非都是采用差压式保护。对保护而言，需要的是

开关量信号，电接点水位表基于分段报警式测量原理，更容易满足保护的需求。配套GJT-2000测量筒的电接点水位计，测量筒内水柱平均温度为饱和水温度、水柱相对标高与汽包内饱和水一致，故报警电极如同在汽包内部定点检测一样。其水质自优化使水柱水质优于汽包内饱和水，免排污，电极承受热冲击小、不污染。RDJ-2000电极组件自紧机械密封、不泄漏。这些高可靠性传感性能，使其维护工作量小。故仪表全工况报警准确性、稳定性、可信度之高，是差压式水位报警无法达到的。配套DS-2000电测仪表进一步提高了测量准确性与传感器可靠性。

在锅炉运行中，GJT-2000测量筒不需升降汽包水位即可进行“满水和缺水实际传动校验”，校验快、准、易行，使保护在锅炉运行中定期校验成为可能。此独特性能也是差压式水位保护不具备的。

显然，配套GJT-2000测量筒的电接点水位表是停炉保护系统的最优化配置。国内外标准强调保安和自调系统信号分开，没有强调保安和监视系统分开。故选用电接点水位表为主表和保护仪表，不属于违章设计。

3.5 汽包水位测孔使用分配

既有封头测孔又有中段测孔，应根据测量装置在系统中重要性分配使用测孔。电接点水位计为主表又用于保护，最重要，必须用封头测孔。平衡容器重要性低于电接点水位表，在封头测孔所剩不多情况下可不必强调全用封头测孔。鉴于电接点水位表性能以趋于完善，水位TV的重要性降低，甚至不如CRT水位计，可用中段测孔。大量程水位表亦然。

3.6 典型优化配置

监视系统：配套GJT-2000A型测量筒的三个电接点水位表为主表，在封头取样测量；一个或二个云母水位计（水位TV），一个全工况大量程电接点水位表，CRT水位计为辅表。

“三取二”水位停炉保护、联锁及热工信号报警仪表为三个主表电接点水位。自调“三选中”系统三个差压水位计，可配套新旧型双室平衡容器或单室平衡容器。所有一次测量装置彼此独立取样。

4 实例

河北马头发电总厂、河南焦作电厂等电厂基本上按典型配置，以多测孔接管技术增加4个水位测点为优化配置前提，以GJT-2000A测量筒更换普通测量筒进行电接点水位表改进为中心，在DCS技术支持下对汽包水位监控系统进行一体化技术改造^[7]。河北衡水电厂（亚临界锅炉）以GJT-2000A测量筒和DS-2000型电测仪表更换了原测量装置。这样，就将陈旧的监控保护系统改进为一流系统。

电接点水位表测量准确，运行可靠，并以其为准核对校正CRT水位计。主、辅表（包括自调系统的三个变送器）数量冗余度高，可进一步保证运行人员可靠地完成监控任务，保证仪表诊断、事故水位判断的正确性，进一步了解水位分布。

优化配置消除了锅炉长期无水位保护运行风险。满、缺水停炉保护从点火起可能可靠投入运行。

焦作发电厂、马头发电总厂的技术改造成果，分别通过了河南省^[7]、河北省电力公司正式技术鉴定。专家认为，设计新颖，测量准确度高，运行可靠，达到了国内领先水平。

5 结束语

在役锅炉汽包水位一次测量系统配置优化是必要的。监控保护系统能否充分满足运行安全监控需求，取决于一次测量系统配置优化程度。以多测孔接管和GJT-2000A型测量筒核心技术进行优化配置，是可行的，可解决配置冗余度低、水位测量不准、不可靠等一些“老大难”问题，有利于实现可靠的人、机双重保安系统。

锅炉汽包水位安全监控有新的需求，则需要新的技术突破。随着汽包水位测量技术的不断进步，测量系统配置应不断优化，使监控保护系统不断完善，那么，“防止锅炉汽包满水和缺水事故”的基础将更加可靠。

6 参考文献

- [1] 防止电力生产重大事故的二十五项重点要求. 防止锅炉汽包满水和缺水事故. 国家电力公司. 2000-9-28
- [2] 关于秦皇岛热电厂4号锅炉“12.16”重大事故的通报. 国家电力公司文件. 国电安运[1998]60号
- [3] 张晋斌、张徐亮. 火电厂安全保护系统设计探讨. 中国电力, 1998, (5): 69-71
- [4] 邹文华. 锅炉汽包水位高精度及多测孔接管测量装置通过鉴定. 中国电力, 2001, (4): 50
- [5] 高 澎、滕会英、傅 刚、 荆予华. 汽包水位高精度取样电极传感器及其应用. 中国电力, 2002, (10): 65-69
- [6] 河北省电力公司部门文件生技[2002]12号. 河北省电力公司热工专业研讨会会议纪要
- [7] 李刘军、高维信、傅刚、荆予华. 汽包水位监控保护一次测量系统改进. 电力安全技术, 2002, (4): 28-30

文章作者： 高维信

发表时间： 2003-02-19 00:00:00