

锅炉水压试验项目实施关键技术与风险防控措施

冯宝宇

黄河大通发电有限责任公司 青海 西宁 810100

摘 要：锅炉水压试验是核验承压设备密封性能与结构稳定性的重要工序，试验流程复杂、承压管控要求严苛，各类操作偏差极易引发设备缺陷与安全隐患。本文结合锅炉水压试验全施工流程，系统梳理试验前期的筹备建设内容，细化封堵布设、排气稳压、分级升压、泄压复原等核心施工技术，分类归纳压力异常、密封渗漏、结构损伤及环境干扰等常见作业风险，搭建全流程、分层级的风险防控体系，细化前置排查、动态管控、应急处置等管控手段，能够规范现场作业流程，保障锅炉水压试验施工质量与作业安全。

关键词：锅炉设备；水压试验；施工技术；风险识别；安全防护

引言：锅炉属于工业生产中的核心承压设备，运行稳定性直接关乎整套生产系统的安全运转。水压试验作为锅炉安装与检修后的关键核验工序，能够直观检验设备承压能力与密封完整性，排查设备及管路存在的隐蔽缺陷。试验作业涉及多道工序衔接，压力管控精度要求高，现场可控影响因素较多。缺乏规范的技术管控与风险防护手段，容易出现结构损伤、介质渗漏等问题。依托标准化施工技术与全流程防控模式开展试验作业，可有效规避各类施工隐患，保障锅炉设备满足投入运行的质量标准。

1 锅炉水压试验前期筹备体系构建

1.1 设备及管路系统状态核查

锅炉水压试验开展前，需对整体设备与管路系统开展全面细致的状态核查工作，保障承压体系满足试验开展条件。重点检查锅炉本体受热面、集箱、管道焊缝等关键承压部位，排查结构表面存在的破损、裂纹、变形等不良状态。细致查验各类阀门、法兰、密封构件的安装状态，确认密封结构完整严实，封堵位置牢靠稳固。逐一核查管路连接位置的装配质量，排查接口松动、密封缺失、管路错位等施工遗留问题。清理设备内部残留的杂物与积水，维持承压腔体内部洁净通畅^[1]。针对压力表、监测仪表等配套装置开展状态检查，保证设备具备正常投入试验的工作条件，规避结构缺陷引发的试验异常问题。

1.2 试验介质与配套工装筹备

试验介质与工装设备的规范筹备，是保障水压试验平稳推进的基础条件。结合锅炉设备运行参数选取适配的试验用水，控制水质洁净程度，减少杂质、锈蚀微粒对管路内壁造成的磨损与堵塞问题。提前完成试验用水

的储存与转运筹备，满足全程稳压、补水、排水的作业需求。筛选适配压力等级的加压设备、输水管道、密封配件，核对工装设备的承压能力与适配规格。检查加压设备运行状态，排查机械故障与运行隐患。校验各类监测仪表的灵敏程度，保证压力数据采集精准稳定。规整摆放各类辅助工具与防护配件，统一收纳分类，方便现场作业随时取用，搭建完整的试验工装保障体系。

1.3 作业场地与作业条件梳理

全面梳理试验作业场地的环境条件，消除场地隐患，营造稳定安全的作业环境。清理试验区域内的杂物、障碍物，拓宽作业通行空间，保证人员操作、设备摆放、管路布设具备充足场地条件。检查作业区域地面平整度与排水条件，提前规划积水疏导路径，规避试验排水堆积带来的场地湿滑问题。排查场地周边设备布设情况，隔离无关电气设备与裸露线路，阻断水体接触引发的安全隐患。调整场地通风与采光条件，满足高空作业、近距离观测的现场需求。规整划分作业区域范围，杜绝无关杂物堆积与无关作业交叉干扰。

1.4 前置工序与作业流程规划

水压试验具备较强的工序关联性，需要提前完成前置工序核验与整体流程规划。确认锅炉本体安装、管路焊接、构件加固等前置施工工序全部落实到位，施工内容符合试验开展标准。梳理试验全过程的作业步骤，明确管路接通、介质注入、排气升压、稳压观测、泄压收尾各环节的操作内容。界定各作业环节的操作重点与管控要求，梳理工序推进过程中的注意要点。合理排布整体作业顺序，理顺各环节的前后衔接关系，规避工序错乱引发的操作漏洞。清晰的流程规划可以规范现场作业行为，提升试验推进的有序性，为水压试验标准化实施

筑牢前期基础。

2 锅炉水压试验核心实施关键技术

2.1 系统封堵与试验管路布设技术

锅炉水压试验启动前，系统封堵与试验管路布设是把控整体试验质量的关键工序。结合锅炉本体承压范围与结构形式，对各类闲置管口、备用通道及非试验接口开展封闭处理。选用适配规格的封堵配件，强化接口密闭程度，有效阻隔水体外泄与空气倒灌。试验管路布设遵循规整、顺畅的布设原则，合理规划管线走向，减少多余弯折与迂回路段，降低管路内部压力损耗^[2]。增设稳固的支撑结构固定管线位置，规避作业过程出现管线偏移、晃动等问题。仔细核查所有管路接头、连接端口的紧固状态，及时处理衔接不严、缝隙残留等施工问题，筑牢水压试验密闭运行的基础条件。

2.2 系统排气与稳压作业技术

完成系统注水作业后，充分落实内部排气作业，规避积气堆积引发的压力失真问题。开启锅炉结构高点

对应的排气装置，持续释放腔体内部滞留空气。观察排气口出水形态，待水流均匀连续、无气泡溢出后，闭合全部排气点位，完成系统密闭作业。排气工序结束后，对锅炉承压结构、管路连接位置、封堵点位及焊缝区域开展全面排查，及时发现细微渗漏、结构形变等异常情况。微调系统内部压力状态，让整体压力数值逐步趋于平稳，稳定设备内部承压环境，为后续升压试验营造精准可靠的作业条件。

2.3 分级升压与恒压管控技术

升压作业全程采用梯度递增模式，杜绝瞬时高压对锅炉结构造成冲击破坏。依照合理的压力梯度稳步抬升系统压力，每完成一级升压便暂停加压操作，给予压力充分扩散平衡的时间，近距离观测承压构件、管路接口与密封部位的运行状态，排查各类细微缺陷与异常隐患。为规范现场升压节奏、统一管控标准，结合常规锅炉试验工况梳理分级升压关键管控参数，针对不同压力区间设置差异化的升压速率与稳压时长，形成标准化作业参考，具体参数如表 1 所示。

表 1 锅炉水压试验分级升压作业管控参数表

升压阶段	压力控制区间 (MPa)	升压速率 (MPa/min)	静置稳压时长 (min)	阶段作业内容
初级升压	0 ~ 0.3	≤ 0.15	3 ~ 5	排查管路密封、接口紧固状态，排出残余积气，初步校验系统密闭性
中级升压	0.3 ~ 1.0	≤ 0.10	5 ~ 8	全面核查焊缝、法兰、封堵点位运行状态，监测压力数值稳定性
终级升压	1.0 ~ 1.25	≤ 0.08	10 ~ 15	低速升压规避结构应力冲击，精细化排查形变、细微渗漏，锁定异常点位

压力达到作业标准数值后终止加压操作，进入恒压管控阶段。恒压时段内持续监测系统压力波动情况，压力浮动偏差控制在极小区间，微调加压设备运行状态，抵消环境温度、结构形变带来的压力浮动，维持压力区间稳定，完整核验锅炉设备的整体承压与密封能力。严格遵循梯度升压逻辑，可有效规避压力骤变引发的结构应力集中问题，保障试验过程平稳可控。

2.4 泄压排水与设备系统复原技术

水压试验核验工作结束后，严格按照规范流程开展泄压、排水与系统复原工作。放缓压力释放节奏，平稳降低系统内部承压数值，避免压力骤变冲击损伤锅炉构件。压力回落至常压标准后，开启排水通路，彻底排空锅炉腔体与试验管线内部积存水体。清理设备内部残留水渍、杂质与污物，保证腔体内部洁净通畅。拆除所有临时布设的试验管路及封堵构件，还原锅炉原始结构布局与设备装配形式。细致核对各部位装配状态，整理规

范现场作业环境，让整套设备恢复常态备用工况。

3 锅炉水压试验作业风险识别

3.1 压力异常与系统承压风险

锅炉水压试验全程处于带压运行状态，压力参数的异常波动会直接引发系统承压隐患。加压速率把控不当，过快的压力抬升速度会让锅炉承压结构承受瞬时荷载，超出构件常规承载范围。稳压阶段压力数值出现无故上浮或回落，意味着内部承压体系处于不稳定状态^[3]。压力监测环节出现疏漏，无法及时捕捉参数异常，会让系统长期处于超限承压状态。各类不规范的加压操作与监测疏漏，会打乱设备正常承压节奏，引发承压失衡问题，对锅炉本体及管路结构形成持续性的荷载冲击。

3.2 密封失效与管路渗漏风险

密封结构与管路接口是水压试验中最易出现缺陷的薄弱部位。封堵构件选型不合理、安装不够严密，会造

成接口密闭性能不足,水体从缝隙位置缓慢渗出。法兰、焊缝、阀门密封件长期使用出现老化、磨损,承压状态下会逐步出现渗水、滴水甚至流水现象。试验管路布设存在瑕疵,接口紧固力度不足,升压过程会出现松动渗漏问题。细微渗漏问题未能及时发现和处理,会逐步扩大为大面积渗水缺陷,破坏试验密闭体系,干扰压力稳定性,影响水压试验整体作业质量。

3.3 构件形变与结构损伤风险

锅炉各类承压构件对压力荷载变化较为敏感,不合理的加压方式会诱发结构性损伤。压力梯度设置不合理、稳压时间把控不规范,会让受热面、集箱、管道等构件承受不均匀荷载。结构内部应力无法均匀释放,会产生轻微形变、鼓包等不可逆损伤。长期超限承压还会扩大构件原有细微裂纹,造成结构开裂、局部变形等严重问题。这类结构损伤具备隐蔽性特征,初期不易察觉,会留存至设备后续运行阶段,降低锅炉整体运行安全储备。

3.4 现场操作与环境干扰风险

水压试验作业流程繁琐,人工操作行为与现场环境条件都会带来不确定风险。作业人员操作流程不规范,加压、排气、泄压等关键步骤把控不到位,会诱发各类试验异常问题。现场作业空间狭小,人员走动、设备摆放容易触碰试验管路与监测装置,干扰试验正常推进。场地湿滑、通风不良、光线不足等环境问题,会提升作业失误的概率,增加现场安全隐患。全面识别此类干扰因素,可为后续风险防控工作提供清晰的管控方向^[4]。

4 锅炉水压试验全过程风险防控措施

4.1 试验前期隐患排查前置防控

试验正式启动前,需落实全方位隐患排查工作,从源头规避各类试验风险。细致检查锅炉本体、承压管路、焊缝接口及密封构件的实际状态,筛选存在老化、破损、松动的零部件并完成更换整改。核查临时封堵结构与试验管路的布设质量,确认所有接口密闭严实、支撑固定牢靠。校准压力监测设备与各类仪表,保障数据采集精准有效,杜绝监测偏差引发的管控失误。规整现场作业环境,清理场地杂物与积水,优化作业采光与通风条件。全面梳理试验流程中的薄弱环节,提前制定针对性管控方案,把潜在隐患消除在筹备阶段,保障试验作业具备稳定开展条件。

4.2 升压稳压阶段动态过程管控

升压与稳压是风险高发的核心阶段,需落实精细化动态管控手段。严格按照既定梯度完成升压作业,缓慢抬升系统压力,杜绝过快加压带来的结构冲击。每一级升压完成后预留充足静置时间,让设备内部应力充分释放,观察承压结构与管路体系的运行状态。

压力达到标准数值后,稳定设备运行状态,持续盯守压力参数变化。及时微调设备运行状态,抑制压力浮动偏差。重点巡查焊缝、法兰、封堵点位等薄弱区域,第一时间捕捉渗漏、形变等异常迹象,维持整体承压系统的运行稳定性。

4.3 异常工况应急处置防控

针对水压试验各类突发异常工况,需建立完善的应急处置机制。作业开展前梳理压力超限、管路渗漏、结构形变等常见问题,明确各类故障的处置流程与操作标准。试验过程发现压力骤变、水体渗漏、构件异常等问题,立刻停止加压作业,稳步降低系统内部压力,阻断风险持续扩散。针对轻微渗漏问题,待压力回落之后开展封堵加固处理。面对结构性变形、开裂等严重问题,彻底终止试验作业,排查问题成因并完成整改修复,隐患彻底消除后方可重新开展试验工序。

4.4 现场作业全流程规范管控

规范的现场作业管理是稳定试验质量、规避安全隐患的重要保障。严格落实标准化作业流程,约束人员操作行为,杜绝随意加压、快速泄压、违规操作等不规范行为。划分专属作业区域,隔离无关设备与杂物,减少外界因素对试验作业的干扰。定期检查现场机具、管路线路的运行状态,及时排查设备运行隐患。强化作业过程细节管控,把控每道工序的操作精度与作业标准,持续优化现场作业环境^[5]。常态化的流程管控可以有效规避人为失误与环境干扰,筑牢水压试验整体安全防线。

结束语

锅炉水压试验的施工质量取决于前期筹备、工序实施、风险管控的全过程精细化管理,任一环节的管控疏漏都会影响设备核验精度与作业安全。规范各类核心施工工序的操作标准,落实分级升压、稳压管控等专业化技术手段,可有效提升试验作业的规范性。精准识别各类施工风险并落实对应的防控与应急处置措施,能够全方位规避试验过程中的设备损伤与现场隐患,持续提升锅炉水压试验的施工规范性与可靠性,为锅炉设备安全稳定运行筑牢基础。

参考文献

- [1] 何磊.350MW 超临界机组锅炉水压试验分析[J].电力与能源,2025(3):328-331,337.
- [2] 张明.冬季寒冷地区锅炉水压试验后保养措施[J].科技创新与应用,2023,13(4):130-133.
- [3] 姜志强,谢利成.锅炉集箱水压试验自动控制系统组成及应用[J].锅炉制造,2025(4):32-34,37.
- [4] 张磊.燃气-蒸汽联合循环机组余热锅炉水压试验关键技术研究[J].电力科技与环保,2023,39(2):89-93.
- [5] 李艳,王浩.余热锅炉水压试验安全风险防控措施探讨[J].锅炉技术,2022,53(4):78-82.