

探讨油田热注锅炉爆管原因及解决对策

芦亚恒（辽河油田石油化工技术服务分公司热注一公司，辽宁 盘锦 124010）

摘要：石油开采过程中需要使用热注锅炉，并且热注锅炉的使用效果会直接关系到原油的产量、质量。虽说热注锅炉在石油生产中使用频繁，但是在石油实际生产过程中，热注锅炉出现爆管的情况时有发生，给石油生产造成障碍，造成巨大的损失。对于热注锅炉出现爆管的情况，需要分析其中存在的原因，在此基础上提出针对性的解决方案，明确未来一定时期内热注锅炉的发展方向，最大限度上发挥热注锅炉在石油生产中发挥的效力。

关键词：石油生产；热注锅炉；爆管

热注锅炉主要应用于稠油生产，虽然使用热注锅炉可以稠油生产的效果，但是热注锅炉频繁出现爆管现象，不仅给石油生产企业造成损失，还影响了注汽锅炉的实际使用率与注汽效率。因此为了最大限度上发挥热注锅炉在石油生产中的效用，需要对热注锅炉出现爆管的原因进行充分分析，在此基础上制定针对性的策略，确保石油生产中热注锅炉的实用性、稳定性、安全性，使热注锅炉的工作质量得到有效提升。

1 热注锅炉出现爆管的原因

1.1 锅炉水质

经研究分析，热注锅炉出现爆管的大部分原因都是因为锅炉水质引起的。可以将热注锅炉水质大致分为软化水、回注水、开采水三种，无论哪一种水质当中，都含有大量的酸碱离子，而酸碱离子过量会直接破坏热注锅炉材料本身的其强度。并且热注锅炉内部水质主要来自于地下油田，其中含有大量的矿物质，大量的矿物质会直接损坏热注锅炉材料自身的脆性、韧性。鉴于此，热注锅炉的水质会直接引起热注锅炉爆管。

1.2 硬件安装不完善

除了水质以外，热注锅炉在硬件安装的过程中如果存在缺陷，同样会造成热注锅炉出现爆管现象。热注锅炉一些硬件的安装对精度存在很高的要求，但是往往在人工安装硬件的过程中会因为一些操作失误造成管路出现形变，致使热注锅炉在实际使用过程中存在一定的安全隐患。

在石油开采的过程中，如果热注锅炉上安装了不合格的管路，就会导致炉内水位虚假显示的情况出现。按照正常的工艺流程，使用不合格的管路，若热注锅炉处于高压工作环境，就会因为压力过大造成热注锅炉爆管。

1.3 热注锅炉内部结垢

之所以热注锅炉内部会出现结垢现象，是因为热注锅炉内部的水质所造成的。热注锅炉经过长期使用且不及时清理，内部就会结垢，并且到后期结垢的速度呈现指数增长趋势。

经过对现阶段热注锅炉结垢引发爆管的事件进行分析可以发现，因为热注锅炉内部结垢引起热注锅炉爆管是较为常见的现象，所以当热注锅炉内部出现结垢以后，热注锅炉内壁的导热系数会急剧下降，影响了热注锅炉

内壁材质应力，使其呈现下降趋势，如果热注锅炉内壁材质应力下降到一定的值时，热注锅炉就会出现爆管。

1.4 内壁腐蚀

热注锅炉在高温高压条件下，内壁很可能会被腐蚀，而内壁腐蚀的结果就会造成热注锅炉变薄。热注锅炉内壁腐蚀情况可以大致分为两类。

1.4.1 气体腐蚀

如果热注锅炉内部含有氧气、二氧化碳，就会造成热注锅炉内壁出现腐蚀现象，进而引起爆管。^[1]内壁腐蚀不容易被发现的原因是，被腐蚀的位置通常被垢掩盖，这种垢下腐蚀通常在容易产生水垢的位置出现。内壁产生水垢的位置往往具有相对较高的温度，此时如果水汽渗透到水垢以下，杂质就会腐蚀金属，致使内壁金属表面出现腐蚀坑，最终导致爆管发生。

1.4.2 疲劳腐蚀

热注锅炉在长期的使用过程中，往往会受到来自不同方向应力的作用，在复杂的应力作用下致使热注锅炉内壁出现疲劳腐蚀。大部分热注锅炉使用的都是卧式直流结构，辐射段管束为水平蛇形布局，受到汽水密度差的影响，汽水混合物产生的蒸汽位于水平管上方流动，液态水位于水平管下方流动，在严重情况下就会造成水汽分离，受到交变热应力的作用，热注锅炉很容易出现疲劳腐蚀。

2 水质分析

通过前文分析导致锅炉爆管的原因可以发现，水质是因此锅炉爆管的主要原因，因此本次研究中对水质进行重点分析。

2.1 锅炉的运行参数

额定压力 27MPa，预定蒸汽温度 380℃，水总量：10t/h。

2.2 水质化验

表1 水质分析结果

项目	炉水	软化水	回用水
$\rho(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{mg/L})$	5375.2	1059.7	1006.4
$\rho(\text{Mg}^{2+}) / (\text{mg/L})$	0	0	7.4
$\rho(\text{Ca}^{2+}) / (\text{mg/L})$	0	0	13.4
$\rho(\text{Cl}^-) / (\text{mg/L})$	984.6	270.9	242.4
$\rho(\text{SO}_4^{2-}) / (\text{mg/L})$	52.2	11.9	4.8
$\rho(\text{HCO}_3^-) / (\text{mg/L})$	0	2262.1	2326.1

$\rho(\text{CO}_3^{2-}) / (\text{mg/L})$	5049.5	34.3	0
$\rho(\text{OH}^-) / (\text{mg/L})$	623.7	0	0
总矿化度 / (mg/L)	12085.4	3638.7	3600.7
总硬度 / (mg/L)	0	0	64.2
总碱度 / (mg/L)	10256.6	1912.4	1907.6
pH/ (mg/L)	12.45	7.96	7.88
$\rho(\text{悬浮物}) / (\text{mg/L})$	1.5	4.5	81
$\rho(\text{油}) / (\text{mg/L})$	0	1.3	25.3
$\rho(\text{SiO}_2) / (\text{mg/L})$	182	70.4	68.5
$\rho(\text{Fe}) / (\text{mg/L})$	0	0	0.4

本次化验的水质来自研究对象辽河油田，由锦州采油厂提供。对需要化验的水质进行详细分类，经过分类后，需要化验的水质有软化水、回用水、炉水。本次化验所需要的设备有，pH 测定仪、等离子发射光谱、紫外可见光度仪、COD 测定仪、烧杯、电加热设备、天平、温度计。

2.3 固溶物分析

将软化水、回用水、炉水分别取样加热，加热三次，以水蒸发作为停止信号，对残渣质量浓度进行检测，数据详见表 2。

表 2 残渣质量浓度 mg/L

实验序号	$\rho(\text{残渣})$		
	炉水	软化水	回用水
1	2845.6	3254.3	4598.2
2	2568.1	2174.4	5714.5
3	3045.8	1786.5	3456.1

对表 2 数据进行分析可知，炉水残渣最大值为：5714.5mg/L，这是因为回用水进行处理前在炉中加药，并且在开展实验之前并没有去除水中有机物，鉴于此，对三种水进行 COD 测定，数据详见表 3。

表 3 COD 测定结果

水样	炉水	软化水	回用水
COD/ (mg/L)	418	720	654

去除残渣中有机物质量浓度，可以测量得到残渣中含盐质量浓度超过 5000mg/L，而锅炉的使用标准中规定盐的质量浓度最大为 50mg/L，由此可见这样的水质对锅炉本身存在巨大的威胁，极容易发生爆管。

2.4 水质含盐量过高的危害

2.4.1 损坏受热面

锅炉在运行过程中，表面的金属受热以后会迅速将热量传递给锅炉中的水，因为导热性差异，锅炉金属与水的温差范围在 30-100℃，对于结垢的锅炉而言，表面导热性能下降，进一步降低了向水传递的温度。

因为锅炉结垢的类型不同，不同的垢导热性能不同，从而导致锅炉的导热不均，并且金属强度下降，最终导致锅炉爆管。

2.4.2 表面结晶

锅炉水中的盐，溶解度相对有限，并且这些盐的离子浓度往往大于溶解度，始终处于过饱和状态，但是并不会产生沉淀。^[2] 这种情况下，如果锅炉水接触到具有诱导因素的部位，如结晶、弱化金属，此时就会产生大

量的沉淀。通常锅炉的受热面金属粗糙，在此基础上锅炉中水的难溶性盐就会在受热面聚集。至于金属表面被腐蚀的产物，通常会以过饱和锅炉水结晶的形式产生。因为金属表面受热不均，这种情况下锅炉表面金属就会出现电位差，往往局部温度高的金属表面为低电位的阳极，在静电作用下，锅炉中水一些带有负电的胶体就会在低电位处聚集，最终以沉淀的形式析出，且沉淀速度大于其他位置。

2.4.3 汽水共腾

锅炉内大量水滴被蒸汽带走的现象被称作汽水共腾。出现汽水共腾现象，会在短时间内快速降低锅炉的实际工作效率，导致水、燃料的大量浪费。蒸汽会使盐结晶析出，汽水共腾当中的水分含有大量的盐，这些含有大量盐分的水汽混合物进入到过热器以后，从饱和蒸汽加热至过热蒸汽，在蒸发浓缩的共同作用下，盐分会从水汽混合物中析出，过热器内部就会出现析出的盐分，久而久之堵塞过热器，造成过热器烧毁，同时减小蒸汽流通面积，使压力急剧下降。沉积岩导热效率低，进而导致过热器的导热效率下降，导热管温度增加，最终出现爆管。

3 避免热注锅炉爆管的对策

3.1 确保锅炉的安装质量

工作人员在安装锅炉时，需要对锅炉的质量进行全方位检查，以此来确保锅炉的资质达标。严格按照相关规定检查、监督锅炉的安装程序，如果发现不达标的设计要求，需要第一时间指出并勒令改正，直至通过检验才可以进入下一环节。

3.2 提升水质

水质在很大概率上会引起锅炉爆管，因此为了解决锅炉爆管，首先要改善锅炉水质。现阶段可以通过两种途径改善锅炉水质：在热注锅炉还没有注水之前，可以预先向水中加入适当的酸性、碱性物质，达到中和水质的效果，以此来避免因为过强的酸碱性对锅炉自身产生的影响，至于酸碱物质的实际使用量需要结合水质的实际情况，为了确保有效性，可以通过实验的方式计算酸碱物质的使用量；还可以尝试通过降低水质中矿物质含量，可以在热注锅炉正式注水之前，对水质进行简单的预处理，以此来最大限度上避免水中矿物质超标对锅炉脆性、韧性的破坏。

3.3 热注锅炉材料耐高温性能提升

热注锅炉爆管事故并不全是因为高温环境造成的，不过因为高温引起的热注锅炉爆管事故确实最为常见的原因，这也是众多热注锅炉制造商在生产时需要高度重视的原因，要提升热注锅炉材料的耐高温性能就需要研发新材料，从而最大限度上降低锅炉爆管发生率。当前社会经济快速发展，对石油的需求量不断增加，使用热注锅炉开采石油成为未来石油生产的主流趋势，而热注锅炉材料的制造、研发组织需要同时从技术、操作两个方面出发，对爆管现象进行深入研究，实现技术创新，提

升生产效率,最大限度上避免锅炉爆管事件的发生,使石油生产符合我国社会发展的实际情况,争取创造更大的价值与收益。

3.4 管壁腐蚀控制

结合全球范围内的热注锅炉爆管事件可以发现,许多爆管事故都不是因为人员操作不当导致的,由此证明热注锅炉爆管并不是偶然事件,而是长期积累的问题导致的。事故过后,工作人员对热注锅炉进行全面检查,经检查后发现许多细节问题同样会引起锅炉爆管,许多细节问题都是因为平时清洗锅炉不彻底留下的隐患。^[3]有专家研究显示,热注锅炉的弯管、末端连接处非常容易产生一些细节问题。正常情况下,在对热注锅炉进行清洗的过程中,清洗设备很难将弯管、末端连接处清洗干净,但是截至目前为止还没有十分有效的方式解决这一问题,清洗时也只能使用清水,但是并不能实现有效清洁,日积月累最终引起锅炉爆管。为了实现对管壁腐蚀的有效控制,现阶段通过以下措施开展有效控制。为了防止锅炉管壁出现气体腐蚀,可以选择热力除氧和化学除氧等途径去除锅炉水中溶解的气体;对锅炉管理人员加强专业培训,可以选择酸洗、碱煮的方式开展对炉管的定期除垢工作,通过这种方式防止锅炉生垢产生腐蚀;可以选择控制辐射段管束出现水汽分离现象来避免产生疲劳腐蚀。经过实验结果证明,选择正确的排污方式,可以在很大程度上有效避免锅炉内部再次结垢。

3.5 锅炉运行流畅优化

细化锅炉调试方法、流程及各阶段的控制参数要求,增加燃烧器调试过程中对火焰长度及炉膛温度场分布的具体要求、分离器液位控制、温度和压力升速控制指标等。锅炉启炉到分离器液位建立的整个过程中,带一定的压力负荷;延长从启炉到满负荷运行的时段,期间应逐步加大火量,避免热负荷陡然上升;为保证分离器安全运行,在启炉到满负荷运行过程中,严格升温 and 升压速度;增加锅炉日常运行的巡检人员和巡检频次,提高对锅炉运行状态参数监控、分析及异常状况的处理的完整性和及时性。巡检中加强对过热器前端安全阀的检查,避免过热器前端介质突然大量泄漏及出口压力陡然变化而引起管内滞流的状态;在注汽井切换过程中,先开井后关井以避免因锅炉出口压力的剧烈上升造成过热器内介质发生滞流状态。^[4]

3.6 注汽锅炉保养

对注汽锅炉开展良好的保养,相比有效的维修具有更加重要的意义,可以从根本上确保注汽锅炉的安全性、稳定性,防止注汽锅炉实际运行过程中出现异常现象,从而确保生产活动可以顺利进行。

在注汽锅炉保养工作中,可以将保养工作渗透到日常工作当中,做好锅炉的清洁工作,并对锅炉的各组件进行全面检查,确保温度、压力参数保持在适当范围,同时重视起水质处理效果。同时需要给注汽锅炉系统配备反渗透系统,运用高水质除盐水,不掺杂酸碱物质,

简化流程,增强注汽锅炉的适应性。

为了避免机器故障对作业人员的安全造成危害,影响采油进度,应严格按照规定对热注锅炉进行维护保养。如发现炉管存在蒸汽泄漏,需及时停止运行锅炉,关闭所有阀门,将管线清理干净,防止有液体残留,并更换炉管。应选择同一型号的炉管进行替换,炉管在辐射段为平行排列,在对流段则以交错的方式排列,必须根据要求进行焊接。完成后进行气体试压,炉管能够承受设计范围内的压力,且没有气体漏出才算合格。若依然存在气体泄露问题,必须重新检修,达到安全标准后才能用于生产。严格把控设备质量,不使用存在安全漏洞的设施。加强对热注锅炉生产过程的管理,检查各个部位阀门以及仪器仪表的工作状态,确认其运转正常。重视对自动控制系统的维护和保养,检查其是否存在故障,加强热注锅炉的自控能力,可以极大地节约人力物力,提高采油效率。

3.7 强化过热器与分离器监测

在过热器易出现过热部位加装管壁温度检测和过热报警装置:在过热器入口第三根管加装管壁温度监测热电偶,对管壁温度进行监测,并将检测数据在触摸屏上显示,并设置管壁温度过热报警。增加过热器人口烟温监测及报警,采用烟气温度热电偶对过热器人口烟气温度进行测量,必要时对燃烧器火焰长度进行调整,以控制炉膛温度(热力)场分布,防止过热器受热面热负荷超标。为保证分离器安全运行,在分离器上加装罐壁温度监测热电偶,对分离器罐壁温度进行监测和控制;当锅炉长时间停炉后再点炉时,从锅炉启动到满负荷运行过程中,严格控制分离器的升温 and 升压速度。

4 结论

热注锅炉是现如今石油生产过程中所必须的一种设备,而热注锅炉的实际运行质量直接关系到石油的实际产量。确保石油生产热注锅炉的有效运行可以为石油开采提供有效的保障。爆管是热注锅炉常见的故障,许多因素都会造成热注锅炉爆管。在使用热注锅炉时,需要严格遵照相关的操作规程,并进一步探索热注锅炉除垢、放垢技术,从而将热注锅炉爆管发生发生率降到最低,延长热注锅炉使用寿命、发挥热注锅炉的重要价值。在实际工作中,要求工作人员实事求是,结合实际情况采取针对性措施,控制热注锅炉爆管发生率。

参考文献:

- [1] 李婷. 稠油热注锅炉爆管事故分析研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(06): 130-131.
- [2] 朱新立. 从注汽锅炉爆管看热采注汽站水处理工艺设计的重要性[J]. 石油规划设计, 2018, 29(01): 24-25+29+48.
- [3] 陈铭, 王洋. 锅炉水冷壁大范围换管后连续爆管原因分析及防控[J]. 锅炉技术, 2021, 52(04): 43-48.
- [4] 伍韶君, 齐福利, 时金玉. 干熄焦锅炉二次过热器爆管原因分析[J]. 设备管理与维修, 2021(13): 104-105.