

研究锅炉压力容器压力管道检验中的裂纹问题

侯典涛（济宁市特种设备检验研究院，山东 济宁 272000）

刘智慧（南京扬子石油化工工程监理有限责任公司，江苏 南京 210048）

摘要：为解决锅炉压力容器压力管道缺陷，本文提出几种常见的压力管道裂纹，如机械疲劳裂纹、应力腐蚀裂纹、蠕变裂纹、热疲劳裂纹、腐蚀疲劳裂纹和过热与过烧裂纹，提出不同类型裂纹的宏观与微观特征，以此为裂纹的防治提供参考依据。

关键词：锅炉压力容器；压力管道检验；裂纹

0 引言

裂纹分析对失效分析而言是一个重要基础，通过对裂纹进行的分析能确定裂纹源的具体位置和扩展方向等情况。对锅炉压力容器压力管道进行检验时，其主要任务就是采用检验的方法确定承压件上存在的缺陷，特别是裂纹，然后根据检验结果对管道安全性水平进行预测。

1 机械疲劳裂纹

根据以往检验结果，这种裂纹主要产生在以下几个部位：大轴、叶轮、叶片与辅助转动部分。该裂纹成为应变集中，从部件的表面产生。该裂纹的宏观特征为：裂纹产生初期和拉伸应力轴保持 45° 夹角的滑移面不断扩展，之后裂纹开始和拉伸应力保持垂直。该裂纹一般为直线状，刚开始时裂纹长度不大，呈隧道式持续向内扩展。到中间阶段后，裂纹长度变大，多条裂纹汇集整体向前扩展。到达后期，裂纹的扩展速度加快，在部件其中一侧还会产生切向裂纹。该裂纹的微观特征为：该裂纹的产生和发展会受到材料结构、组织状态与实际受力条件等因素的影响，所以情况相对复杂。裂纹产生部位没有明显的塑性变形，属于脆性开裂范畴，而且该裂纹穿晶，实际的发展趋势和主应力保持垂直，呈弯曲状，通过观察可以在塑性疲劳痕当中发现二次裂纹。对于接触式的裂纹，其开口宽度较大，在开口部位可以见到粘结斑坑，其尾端较为锋利，而裂纹两侧则相对平整，深度不大。

2 应力腐蚀裂纹

应力腐蚀裂纹指的是受应力与腐蚀介质综合影响下产生的裂纹，主要产生在集箱管座与汽水管道处。对于奥氏体不锈钢，它是最容易产生这种裂纹的材料之一，当处于汽水介质条件时，极小的应力即可产生裂纹。该裂纹与张应力保持垂直，裂纹主要呈树枝状，即有分枝特征，尾端相对较细。对于汽水管道而言，其应力腐蚀裂纹主要产生于弯管内壁，这种裂纹是腐蚀与应力联合作用的结果，可理解成以应力为主导的腐蚀。在弯管内壁，裂纹以带状形式沿轴向不断延伸，长度与开口宽度都不大，但数量往往很多。从微观形态看，该裂纹主要呈之字形，既有沿晶，又有穿晶或混晶，并且具有从

表面到内部不断扩展的趋势。

3 蠕变裂纹

蠕变破坏是伴随时间不断发展而形成的材料分离，在温度和应力持续作用下，在发生变形与金属组织损伤的同时而开裂。该裂纹的宏观特征为：裂纹走向与最大应力方向保持垂直，弯管上的该类裂纹大多沿轴向分布。该裂纹的发展主要呈曲折状，可形成一个宽度相对较大的裂纹带，裂纹带中主纹居中，在主纹的两侧分布很多保持近似平行的裂纹。该裂纹主要产生于应力和应变较高的部位。该裂纹的微观特征为：在损伤相对严重的部位，可见到若干米粒状与椭圆状小孔洞，而且这些孔洞之间无规则连接，即在裂纹产生部位必定存在很多蠕变孔洞，并且裂纹沿晶扩展。损伤区中的裂纹从外到内不断发展，裂纹的分支与焊缝熔合线保持平整，在裂纹的两侧与前沿通体等部位还可见到不成连续的微裂纹，这些裂纹均与主纹发展方向保持平行。

4 热疲劳裂纹

金属材料受热交变应力持续作用后产生的断裂现象即为热疲劳断裂。在火电厂中，容易产生该损伤的位置包括：减温器、压力表管座、疏水管座等。该裂纹的宏观特征为：裂纹大多产生在部件的表面，集中于热应变相对较大的位置。当部件上有缺口或刀痕存在时，都有可能导致这种裂纹的产生，部件表面状态不会对其热疲劳寿命造成太大的影响。该裂纹的起源既可以是单条，也可以说是多条，一般以多条裂纹居多，在诸多裂纹中，其中一条将变成主纹，而除主纹外的其他裂纹将由于应力松弛停止扩展，或以较慢的速度扩展。蒸汽管道因受到持续热冲击而在内壁产生的裂纹，大多为簇状或网状，主纹沿轴向不断扩展，若系统应力相对较大则会沿着周向不断扩展。而管道插管管口处由于持续受到热冲击而产生的裂纹，则在管口处以放射状分布，其开口宽度往往很大，而且还会产生伴生裂纹，由于表面会受到氧化物的直接影响，所以形态一般不明显。该裂纹的宏观形态为短粗或细口，开裂部位表面的氧化膜呈网状或线状，在痕迹的下部即为热疲劳裂纹。该裂纹的微观形态为：裂纹扩展无规律可循，而且具有跳跃式分布的特点，宽窄不一，可见分枝与二次开裂，处于裂纹当中的氧化物

较为松散,不连续。该裂纹扩展方式包括穿晶与沿晶,受蠕变温度作用后,以穿晶扩展为主,而当温度超过蠕变温度时,则以沿晶或混合形式扩展为主。

5 腐蚀疲劳裂纹

腐蚀疲劳指的是汽水工作状态下某些承压部件产生的失效,大多产生于汽包与集箱管座等处,在受到介质压力的同时还会受到振动应力影响,伴随运行时间不断延长,产生腐蚀疲劳裂纹。该裂纹的宏观特征为:腐蚀疲劳裂纹与一般疲劳和应力腐蚀两种裂纹存在很大的区别,它主要属于穿晶裂纹,而且大多成群产生。伴随裂纹不断发展,缝宽变大,在裂纹中有很多成疏松状态的腐蚀物,同时在容器或管壁处还可以见到很多由于腐蚀产生的通道、蚀坑与沟槽。在不断扩展时,裂纹分枝的尾部往往较钝。该裂纹的微观特征为:裂纹表现出显著的腐蚀特征,即裂纹宽度大,尾端不尖锐,且为穿晶扩展。在持续扩展中可见分枝。在裂纹分布范围内,可见产生于内壁的裂纹群,裂纹群中的裂纹,其深度与长度均不相同。经过一段时间的扩展,可形成主纹,但次纹发展会受到一定程度的抑制,在断口处可见到若干并不显著的纹线。

6 过热和过烧裂纹

该裂纹主要产生在制造热加工时,包括焊接、热处理与锻造等。过热是指将金属加热至临界点后温度继续升高产生的,由于晶界发生氧化或局部熔化导致裂纹产生。金属被过烧以后,经不起太大的变形,无论是在锻造还是在弯制过程中都有可能产生裂纹,给部件留下安全隐患。该裂纹的宏观特征为:由于过烧导致的裂纹,其表面分布若干大小不同的破裂,可发现熔化痕迹。该裂纹的微观特征为:对于过热和过烧,其显微组织既存在联系也存在一定的区别,主要的相同点为晶粒都比较粗大,而且在晶界上都有粒子沉淀。两者的不同点为:过烧因加热温度过高,所以氧化性气体将向晶界的方向不断扩散,进而在晶粒之间产生一个薄膜,主要分布于晶粒的表面,使用显微镜进行观察时,可以看到孔洞和氧化晶界网络。

7 锅炉压力容器压力管道维护保养

做好维护保养是防止裂纹发生的关键,也是延长寿命的基础,因此,相关操作人员必须对维护保养引起足够的重视。①经常性检查现有防护措施,使其完好无损,避免腐蚀现象的发生;②经常为阀门操作机构去除锈迹并上油,同时定期操作,使其保持灵活;③经常清洁安全阀与压力表,使其保持灵敏与准确,并做好定期校验;④定期对螺栓实际紧固情况进行检查,在保证齐全的基础上,避免锈蚀、少扣;⑤对管道振动情况引起重视,一旦发现异常应先将振源隔断,并采取有效的减振措施,如加强支撑等,若发现摩擦,也应立即采取措施解决;⑥静电跨接与接地装置必须保持良好和完整,若检查发现损坏应立即修复;⑦压力管道停用后,应尽快将其内

部介质排空,同时作必要的清洗与干燥处理,若有必要还应使用惰性气体加以保护。对外表面采用刷漆的方式防护。当管道有保温时,还应确保其保温材料保持完好;⑧对管道与支架之间相接触的位置,由于容易腐蚀与磨损,所以应经常检查,在发现问题后,立即处理,并采取有效的防护措施;⑨及时检查并消除跑冒滴漏问题;⑩对高温管道而言,需在温度上升的过程中对法兰联结螺栓予以热紧;而对于低温管道,则要在温度降低时冷紧;⑪注意不可将管道或支架当做电焊的零线与其他工具支撑点或锚点,以免造成损坏;⑫与管道的检验人员积极配合,对管道进行严格的定期检验;⑬对生产流程中起到关键作用的管道,应做好重点检查与维护;⑭如果在操作过程中出现以下情况,需在立即上报的同时采取紧急措施:管道内介质的压力或温度超出限值且采取初期措施后没有改善;管道与组成件产生裂纹、变形导致泄漏;压力管道冻堵;产生异常振动与响声,对安全运行造成一定程的威胁;管道的安全保护装置失效;发生火灾且对安全运行有很大威胁;阀门与监控装置失效,对安全运行造成威胁;⑮压力管道运行时,做好其运行状态的实时观察,并做好各项运行记录。注意管道的压力和温度是否处在允许范围之内,管道中的介质是否泄漏,设备本体是否存在变形与裂纹等缺陷,一旦发现异常,必须在立即采取措施的同时进行报告。

8 结语

综上所述,裂纹的产生主要受以下两方面因素的影响,其一为客观因素,即部件服役时所处受力状态及环境条件。对于锅炉压力容器,其承压件均进行了强度验算,只要工况稳定,则可以对其使用寿命进行预示,而在恶劣条件下工作时,则很难对使用说明进行预示;其二为部件内在因素,如材料缺陷及存在的各种薄弱环节。这些缺陷都有可能在生产制造时保留于承压件。还有一些缺陷会在工作条件下产生失稳,不断扩展,实际的扩展速度和内外因素都有关,基本无法预测。实践表明,通过对部件的检验,能有效发现缺陷,特别是最不利的缺陷,即裂纹。在检验发现裂纹后,对其进行形态分析,可确定裂纹的形态、性质与类型,能为应对措施的制定提供可靠参考依据,进而为整个系统的安全和稳定运行奠定良好基础。

参考文献:

- [1] 张海楠.在锅炉压力容器压力管道检验中关于裂纹问题的探讨[J].中国设备工程,2021,10(03):188-189.
- [2] 王欣.锅炉、压力容器、压力管道检验中的裂纹问题解析[J].中国石油和化工标准与质量,2020,40(14):55-56.
- [3] 韩忠美.锅炉压力容器压力管道检验中裂纹问题及预防处理方法[J].中国设备工程,2020,11(06):124-126.
- [4] 马良帮,王海宝.关于锅炉压力容器压力管道检验中裂纹问题的探讨[J].科技风,2020,12(05):173.