

以尿素替代液氨实现烟气脱硝本质安全的实践

李潇然

中国华电科工集团有限公司 山东济宁 272000

【摘要】通过对各种发电厂的液氨脱硝法的工作原理和流程进行对比,液氨脱硝法具有较低的成本优势,此外,液氨脱硝法的技术成熟,设备维护成本也相对较低,这也有助于降低企业的运营成本。然而液氨是一种有毒有害的化学品,其储存和运输过程中存在一定的安全风险,液氨脱硝法的反应温度较高,需要消耗较多的热能,这也增加了企业的能源消耗成本。因此需要按照企业的实际情况选择科学的流程,加强安全性。

【关键词】尿素;液氨;烟气脱硝;本质安全

随着火电厂规模的不断扩大,其对生态环境造成的污染问题日益严重,尤其是硫氧化物和氮氧化物的排放。为了应对这一挑战,国家对氮氧化物排放标准提出了更高的要求^[1]。火力发电厂通常采用液氨作为还原剂进行脱硝,增加了电厂对重大危险源的管理压力,对周边人员密集区域如居民区和学校构成氨泄露风险。为了降低风险,部分电厂开始尝试在600MW机组上使用脱硝还原剂由液氨改尿素。这种新工艺流程具有显著的安全性、经济性和可靠性优势。首先,在安全性方面,尿素相较于液氨具有更低的毒性和易燃性,降低了氨泄露带来的潜在危害。同时尿素价格相对较低,可降低电厂的运营成本。与此同时尿素脱硝技术已经得到了广泛应用以及验证,具有较高的稳定性和可靠性。

1 液氨特性

氨气是一种无色气体,具有强烈毒性。当其质量分数在16%-25%之间时,遇到火源即可发生爆炸。GB12268将氨气列为危险化学品,因其可引发急性和慢性中毒,严重时甚至可能导致人员死亡。若贮存氨气超过10吨,会成为国家安全生产监督管理部门的重点监测对象。液氨在储运过程中,对运输和贮存的要求极为严格,因此其运输成本较高。为确保安全,液氨罐与周边道路、厂房、建筑物之间的防火间隔必须至少保持15米。

2 尿素特性

尿素是一种白色或淡黄色的结晶,具有良好的水溶性,并在350-650℃的高温下会完全分解为氨。由于尿素在运输和储存过程中无需担心其安全性和危险性,因此在天津港爆炸事件后,液氨等危险化学品受到了更为严格的监管,包括其运输、储存和使用等方面。然而,由于液氨泄漏等事故频发,以及人口密度大、离水源近等因素的影响,许多电厂选择了使用尿素作为脱硝系统的还原剂,以提高脱硝还原剂的安全性。

3 尿素作为还原剂脱硝过程

3.1 某厂基本情况

该厂采用了以脱硝还原剂由液氨改尿素技术,用于4×1000 MW机组锅炉的脱硝过程。这一方案具有显著的优势,脱硝效率可达99.5%,显示出极高的处理效率。为了保障系统的连续稳定运行,四台锅炉共用一套尿素水解区贮存和供给系统,降低了运营成本。每个机组都配置了两套SCR反应器,这些反应器分别设置在省煤器出口与空预器间、鼓风机与一次风机之上,这样的布局能够确保烟气在处理过程中得到充分的接触和反应。该厂选用了蜂窝型催化剂,这种催化剂具有优异的催化性能,可以有效地促进脱硝反应的进行。SCR装置在脱硝系统中设置了烟气旁路,可以在必要时对烟气进行旁路处理,保障系统的灵活性和可靠性。

为了确保对裂解炉出口到SCR反应器的管路中的流量进行精确控制,每个裂解炉出口都配备了流量计,并配有相应的调节阀。

3.2 SCR区工作原理和工艺流程

在烟气处理过程中,通过向烟气中均匀喷洒5%浓度的还原剂NH₃(氨),并在催化剂的作用下,能够有效地将烟气中的NO_x还原为N₂和H₂O,即NO+NO₂+2NH₃→2N₂+3H₂O或者4NO+4NH₃+O₂→4N₂+6H₂O。该脱硝装置中,每个脱硝反应器均配备了一套一体化的氨气/空气混合器装置。通过这一设计,本发明确保了NH₃和空气在进入烟道后能够与烟气充分混合,从而实现了NH₃和NO_x在烟气中的均匀分布。这种布局有助于提高脱硝效率,并降低污染物排放。

还原剂SCR烟气脱硝装置的核心组成包括尿素供应、溶解、热解、催化剂、排气和反应器等部分。其工艺流程见图1,内容如下:①尿素颗粒经料斗进入溶解槽。②在溶解罐中,利用除盐水将尿素颗粒溶解成溶液,并通过尿素溶液传输泵传送到尿素溶液储罐。接着,溶液通过传输再循环设备被送入计量和分配设备。③在水解器内,尿素溶液

被分解为氨气，并通过母管输送至各支管，再注入氨气/空气混合器。④在进入反应器前，氨气/空气经过混合器充分混合，随后进入锅炉反应器。在高温下，烟气中的NH₃与氮氧化物充分混合，经过SCR脱硝装置的催化层时，NH₃与NO_x发生催化氧化还原反应，将NO_x还原为无害的氮气和H₂O^[2]。为防止尿素沉淀和结晶，该装置还设计了蒸汽加热系统。该系统中的疏水膜回流至疏水器，再由疏水器回流以支持尿素溶解过程。

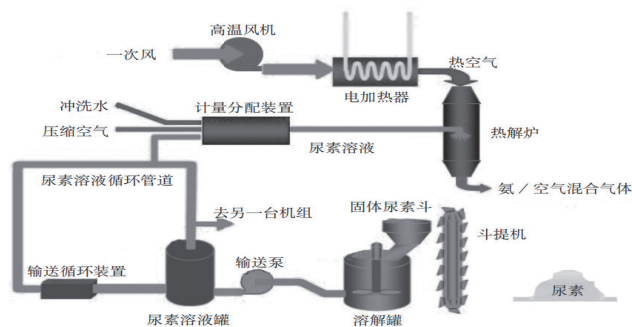


图1 尿素脱硝工艺流程

图1 尿素脱硝工艺流程

3.3 主要设备

每个锅炉都配备了一台尿素裂解炉，用于将尿素溶液在高温环境下转化为NH₃、H₂O和CO₂。裂解炉的设计特点是采用喷嘴将尿素溶液雾化，并在342~600℃的高温热/烟环境中进行热解。为了确保足够的热解效果，裂解炉采用了一次高温空气作为原料，设计风量为8289Nm³/小时，最高可达9000Nm³/小时。为了维持所需的高温环境，裂解炉还配备了电加热装置，可将高温气体加热至600℃。单座电炉的最大功率为1200千瓦。热空气管路是从热主空气的接口引出的，以确保裂解炉获得稳定的热空气供应。北京福泰克环境技术有限公司和常州斯派克能源设备有限公司共同参与了裂解炉的研制工作。裂解炉的整体高度为17370毫米，重量为15239,300kg。其内径为27745/755，壁厚为8mm。裂解炉主要由裂解炉主体部分、裂解炉尾部U形管子、裂解炉长短喷枪及连接管路、以及计量模组控制段的管路及阀门组成。裂解炉尾部的钢材料为16 Mn，其最大容许工作温度为450℃左右，比实际工作温度高出100℃左右。

4 液氨还原剂脱硝流程

4.1 工程基本情况

此发电厂的SCR脱硝技术使用液氨作为还原剂，旨在去除烟气中的NO_x。整个SCR系统按照高灰模式布局，即位于锅炉省煤器和空预器之间。该发电厂为1,2#装置共设了一套液氨贮存及供给系统。液氨的供应过程如下：首先，通过液氨罐车将液氨运送到液氨储存区。然后，液氨储罐内的气氨经过往复压缩机的压缩后，被送至液氨罐车。在压力差的作用下，液氨罐车内的液氨被输送到液氨贮槽内。

接下来，液态氨经过液氨蒸发槽汽化为氨，随后从氨缓冲罐中排出，稀释风机将氨气稀释后，通过两个单元的氨喷射栅格将氨气送至SCR脱硝装置^[3]。流程见图2。

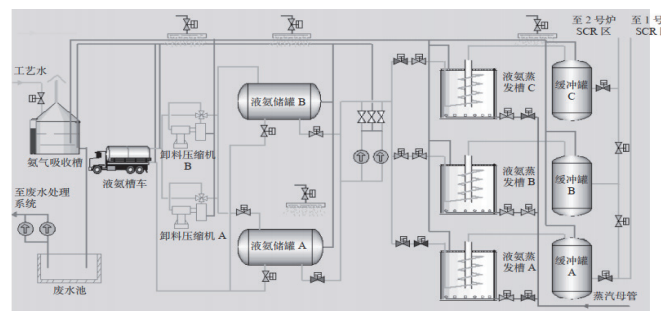


图2液氨脱硝工艺流程

4.2 工作原理

在锅炉废气处理中，通过将NO_x与NH₃以1:1的比例喷射到废气中，然后在SCR装置的催化剂作用下，NO_x与NH₃发生化学反应。这种反应旨在减少废气中NO_x的含量。公式为4NO+4NH₃+O₂→4N₂+6H₂O；6NO+8NH₃→7N₂+12H₂O；6NO+4NH₃→6H₂O+5N₂。

液氨储罐为2座，每座容积为95立方米，充注因子为0.85。在两台锅炉BMCR条件下，只需按0.55的充注量即可满足3天的使用需求，这有助于降低液氨泄露的风险。罐体配备了逆止阀、紧急门、安全阀、温度计、液位计、高液位报警器以及相关的变送器等安全设备，以确保液氨罐的安全运行。为了防止水箱受到日光照射，水箱周围装有工业用水喷洒管和喷头。当水箱主体温度升高时，能够自动开启淋水装置进行冷却，以保护水箱不受损坏。

5 工艺设备

5.1 卸料压缩机

卸料压缩机通常采用往复式压缩机，其工作原理是从液氨储罐中抽取气体，并通过压缩将液氨从罐车推挤至液氨储存罐中。在氨储罐输送氨的过程中，随着液氨量的逐渐减少，储罐内的压力会持续下降，这可能会对后续的氨供应造成不利影响^[4]。为了解决这一问题，通常会使用卸载压缩机对储罐进行增压，以确保液氨能够顺利排放。排氨系统主要由排出压缩机和液氨运输车组成，这段管线需要与罐车相配套，并且与罐车连接的管路应采用不锈钢材料。

5.2 液氨储罐

液氨储罐是SCR系统中用于储存液氨的设备，设计能够承受一定的负荷。为了确保安全，储罐内部配备了过流阀、逆止阀、紧急切断阀和安全阀，以防止液氨泄露。此外，水箱内部还安装了温度计、压力表和液位计，并配备了相应的传送器。当水箱的温度或压力超过规定值时，这些设备会向脱硝控制系统发出警报^[5]。为了应对水箱温度过高的情况，水箱周围设置了工业用喷水喷头和喷头。一旦

水箱温度超出安全范围,自动喷水降温系统会立即启动,通过喷水降低水箱温度。此外,如果发生少量的氨气泄露,还可以启动自动喷淋系统,将氨气吸入,从而有效减少氨气对环境的污染。这些安全措施共同确保了液氨储罐及水箱的安全运行,降低了潜在的安全风险。

5.3 液氨蒸发槽

液氨蒸发槽通常采用螺旋形管式的设计,这种设计可以有效地提高热交换效率。在管道内部,液氨被装填,而在管道外部,则装有热水浴器。这种热水浴器通过蒸汽直接加热至40℃,从而使液氨得以蒸发。随后,再通过进一步加热至室温,确保液氨完全蒸发。为了确保蒸发的过程稳定且安全,蒸发池自身的水浴温控系统会不断地调整蒸汽的流速。一旦水温超过45℃,系统会自动切断供汽,并在控制室的DCS上显示出报警信息,以便工作人员及时发现并处理。蒸发罐还安装了压力调节阀,用于调节氨排出压力。当排出压力超过0.38 MPa时,该阀门会自动关闭进液装置,以防止压力过大对设备造成损坏。在氨排放管道上,还安装了一个温度探测器。当温度低于10摄氏度时,该探测器会关闭氨水,使氨进入缓冲池以保持合适的温度和压力。为了确保装置的安全运行,汽化罐还配有减压阀,用于避免装置中出现不正常的超压情况。这种设计可以确保装置在各种工况下都能稳定、安全地运行。

5.4 氨气稀释槽

氨气稀释槽的设计是为了确保氨水的安全处理和扩散。该槽通常采用垂直设计,并通过溢流线来维持槽内的水位。稀释槽的设计特点是其顶部和槽边的入口相连,这样设计有助于液氨系统各个出口排出的氨水能够有效地汇集,并从稀释槽的下部流入。当氨水进入稀释槽后,它会通过扩散管向槽中扩散,同时用大量的水对安全阀排出的氨气进行吸附。这种设计能够有效地防止氨气的泄漏和积聚,从而确保工作环境的安全。

5.5 氨气泄漏检测器

液氨存储和供给系统在发电厂中扮演着重要的角色,为了确保其安全运行,防止氨泄露对环境和人员造成危害,通常在系统周围安装有氨探测器。这些探测器能够精准地探测到空气中的氨含量,一旦超标,便会立即向机组控制室发送报警信号,以便工作人员及时采取应对措施。为了确保液氨贮存和供给系统的安全性,发电厂在规划时通常会将其设置在炉后,并采取与周边系统相隔离的措施。这样做能够减少氨泄露对其他系统的影响,降低潜在的安全风险。

5.6 排放系统

液氨存储与供给系统中的氨排放管线是一个密闭的系统,通过氨稀释罐吸取氨后排入废池,再由废水泵输送至污水处理厂。由于这种污水具有强腐蚀性,因此对其防腐性能有很高的要求。

5.7 氮气吹扫

液氨储运过程中,确保密封性是至关重要的。为了防止氨水泄露和与空气混合引发爆炸,SCR脱硝系统中的排气压缩机、液氨罐、氨温度槽和氨缓冲箱都应配备氮气净化管道。在排放液氨前,需对这些装置进行全面紧密性检测,并使用氮气进行吹洗,以消除泄露和爆炸风险。在拆除或维修系统前,也必须用氮气吹扫并置换系统,确保安全后方可进行拆卸、维修和动火作业。

6 结语

尿素和液氨作为催化剂各有优缺点。使用尿素作为还原剂,安全性较高,但设备投资大、操作成本高。而液态氨作为还原剂,设备初投资少、操作成本低,但存在较大的安全风险,对发电厂的运输、储存等要求更高。在选择还原剂时,还需考虑现场布局,液氨罐区占地面积大,不适合旧厂改造等场地有限的情况。相比之下,尿素更为安全、可靠,适用于交通不便、场地有限、周围入口少的场合。尿素裂解装置在设计和制造过程中,采用了先进的技术和材料,确保了设备的稳定性和可靠性。因此,整个装置的总体操作故障率非常低,维修和操作的工作量也相对较小。同时,该装置还采用了多重安全保护措施,避免了泄露等危险情况的发生,从而进一步降低了管理费用以尿素代替液氨作为脱硝还原剂,工艺简单、操作方便、环境污染少,且能降低管理费用。虽然操作费用较高,但能消除生产原材料的重要危险源,降低液氨泄露对周围人员造成的伤害和死亡风险,提高燃煤电厂脱硝装置的本质安全性。

参考文献:

- [1] 高炼治. 2×660 MW机组SCR脱硝还原剂尿素替代液氨技术改造[J]. 应用能源技术, 2023(01): 10-13.
- [2] 景杰, 丁开瑞. SCR脱硝液氨改尿素制氨技术经济性研究[J]. 节能与环保, 2022(05): 62-63.
- [3] 徐龙飞. 大型火力发电厂SCR脱硝剂液氨改尿素的工程应用研究[D]. 东南大学, 2023.
- [4] 李秀忠, 霍雷霆. 火电厂脱硝系统液氨改尿素实施及性能对比[J]. 东北电力技术, 2020, 41(09): 16-18+21.
- [5]. 烟气脱硝剂氨水(液氨)的替代产品—HSR干粉脱硝剂[J]. 无机盐工业, 2019, 51(02): 89.