

# 通过改变结构解决补偿器腐蚀性问题的分析

霍立伟,刘述

(秦皇岛北方管业有限公司,河北 秦皇岛 066004)

**摘要:** 腐蚀性问题的研究是补偿器的重要课题,目前普遍的方法是运用抗腐蚀性高波纹管 and 蒙皮的材质,或涂覆防腐材料,但这些方法不但成本高而且在应用中也各有局限性,本文通过实际案例提出了通过局部改变波纹管和蒙皮结构的方法来解决补偿器的腐蚀性问题,这些方法既可以节约成本,且制作工艺较简单,现实实践中也有良好的效果,对补偿器的防腐研究具有一定的指导意义。

**关键词:** 补偿器;防腐;变结构;节约成本;工艺简单

[DOI]10.12231/j.issn.1000-8772.2021.01.272

## 1 前言

补偿器是工业管道的重要组成部分,在工业方面广泛应用,如炼铁,石化,电厂等系统。在各个系统的工业管道中,补偿器都是不可或缺的。在系统运行过程中,管道会受力,会产生位移,变形和振动,工业管道为刚性结构,这种情况下极易受损,甚至造成重大损失。而补偿器就是在此基础上应运而生,它的存在很好的解决了这些问题,保证了工业系统的正常运行。

补偿器的发展历史可以上溯到1885年,法国人勒瓦尔和法国人威兹曼在巴黎附近吕埃尔地区工厂试制成功了“互相连和压连接的金属管”,世界第一次出现了柔性金属管。直到1929年,第一个金属波纹管研制成功,但它并未在管道补偿中得到应用。二十世纪五十至七十年代,世界各国的工业迅速发展,从而使得补偿器的研究和应用都有了高速发展。

经过上百年的发展,人们对补偿器做了很多的研究,而补偿器的腐蚀性分析是其中一个重要方面。补偿器在各个工业系统中都有重要作用,如烧结,高炉煤气,热风炉,电厂,石油,化工等系统,在这些系统当中,管道所流经的介质各不相同,其中有些介质具有很强的腐蚀性,如烧结系统,在烧结过程中产生大量的烟气,成分非常复杂,主要有 $SO_2$ 、 $SO_3$ 、 $Cl^-$ 、 $F^-$ 、 $NH_4^+$ 以及各种化合物,这些成分产生化学反应,会产生腐蚀性很强的化学物质,如硫酸等,这给工业管道产生很大的损害,而波纹管作为整个系统相对薄弱点位置,则更容易被腐蚀,一旦损坏甚至会造成重大损失,而且对环境造成很大污染,近些年发生的很多事故都和补偿器的腐蚀有直接或间接的关系,所以补偿器的防腐也成为了一个越来越重要的课题。

## 2 补偿器腐蚀案例及原因分析

腐蚀是波纹管普遍存在的问题,近几年国内也多有事故发生,发生腐蚀的原因也有多种,给企业造成不小的损失。

案例一:首都秦皇岛钢厂1250M<sup>3</sup>高炉煤气系统,采用的是干法除尘。2004年8月高炉投入运行,2005年3月份发现该系统中的部分波纹管补偿器发生泄漏,到2005年7月份,基本上所有波纹补偿器全部泄漏。泄漏部位有的是在波纹管元件与接管焊缝处,大部份是在波纹管本体波谷和波峰R处。经多方分析论证,流出的液体含有大量的 $Cl^-$ 离子与 $S^{2-}$ 离子,PH值很低,属强酸性液体,使波纹管受到严重腐蚀,最终导致波纹管的损坏。

案例二:山东某钢厂240m<sup>2</sup>烧结机,2008年8月投入运行,至2009年3月,主烟道波纹管补偿器腐蚀穿孔漏风。经分析,烟气中含 $S^{2-}$ 、 $Cl^-$ 等腐蚀介质,又由于冬天气温低,结露形成强腐蚀性液体介质,最终造成了波纹管点腐蚀穿孔。

案例三:某特大型高炉于2010年6月26日开炉,2011年下半年开始,相继出现过波纹元件直边与筒节之间焊口腐蚀泄漏,并在波纹管下部有粘稠液体流出,2013年6月。该高炉热风主管波纹管补偿器突然爆裂失效。

经多方专家实验和分析,系统在运行过程中产生大量的 $NO_x$ ,遇水蒸气发生化学反应,热风向炉壳或管壁扩散,同时温度不断降低,当温度低于露点时会凝结形成具有强腐蚀性的硝酸,该硝酸与

耐材中 $Al_2O_3$ 反应生成 $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 沉积在筒节及波纹管的内表面,对波纹管产生腐蚀,同时热风中的 $NO_x$ 在管壁上结露形成硝酸盐,使得波纹管发生“硝脆”现象,最终导致波纹管爆裂。

## 3 目前常用的腐蚀应对方法

波纹管应腐蚀损坏的案例还有很多,而产生腐蚀的原因也是多种多样,不同的系统,不同的介质和温度等条件,均会产生不同的腐蚀。主要有化学腐蚀,电化学腐蚀,应力腐蚀等。这些年对此已经有了比较多的研究。对应的也出了很多应对策略,主要有以下几种:

(1)波纹管选用防腐性能更好的材质,如Incoloy800、254SMo、Incoloy825等,可以显著提高防腐性能,这也是目前比较常用的方法。这种方法的缺点是会显著增加波纹管的成本。

(2)涂覆防腐材料。如防腐油漆,树脂等,这也是目前用的比较多的防腐方法,也有一定的效果。它的缺点是施工工艺难度较大,容易脱落,尤其在不锈钢波纹管上,且在有些系统中可能会和管道中的成分发生化学反应,从而失效,甚至产生腐蚀性物质,对波纹管产生损坏。

(3)内衬高分子防腐材料。如在波纹管内壁内衬陶瓷,聚四氟乙烯等,这对波纹管防腐也有一定的效果,但这种方法施工难度大,容易脱落,并且它会影响波纹管的受力和对位移的吸收能力,所以目前使用较少。

(4)喷碱性液体。由于补偿器的腐蚀主要是由于酸性液体导致,所以通过喷碱性液体来中和这些酸性物质,已达到防腐的目的。它的缺点是碱性液体的喷洒量不易控制,且需要有专门的喷洒设备,会增加成本。

## 4 通过改变结构来防腐的方法

以上列举了目前使用的波纹管防腐方法,这些方法有的效果较好,有的有一定效果,在现实中也各有应用。但它们也有成本高,施工难度大,有些系统效果不理想的缺点,如何在节约成本且施工工艺较简便的前提下,提高波纹管的防腐成为了亟待解决的问题。

2017年印度某钢厂热风炉系统,波纹管发生损坏,有大量液体渗漏,虽增加了包覆措施,但渗漏现象依然很严重。经了解,该补偿器波纹管材质为316L,厚度为2\*1.2mm,经计算,波纹管满足现场工况下的受力和疲劳要求。后经多方专家分析,发现现场渗漏液体酸性很高,且酸性液体较多,长期在波纹管内部累积腐蚀,最终导致波纹管点腐蚀穿孔而造成泄露。

热风炉的腐蚀性问题近几年也发生过多,我方在接到项目之后,进行了深入研究,提出了目前普遍使用的两种方法,第一种就是波纹管材质采用Inconel625或Incoloy825,可以有效解决波纹管的腐蚀性问题,但这会显著增加波纹管的成本。第二就是使用防腐材料或喷涂碱性液体,以中和管道中的酸性物质,但这也增加成本且实际操作较困难。与客户交流后,这两种方法均被否决。客户要求在不增加成本的情况下解决波纹管的腐蚀性问题。我方通过分析研究决定,通过改变波纹管的部分结构的方法来解决。于是提出了第三和第四种方法。

方法三:多年来对于现场事故的研究发现,波纹管的腐蚀损坏

主要发生在波峰位置,因波峰位置是腐蚀性液体容易积聚的地方,所以腐蚀现象比其他位置严重,也更容易损坏,所以我方经研究决定,在波纹管波峰位置打孔,安装排液阀,使腐蚀性物质可以及时排出,从而达到防腐的目的。图1为结构示意图:

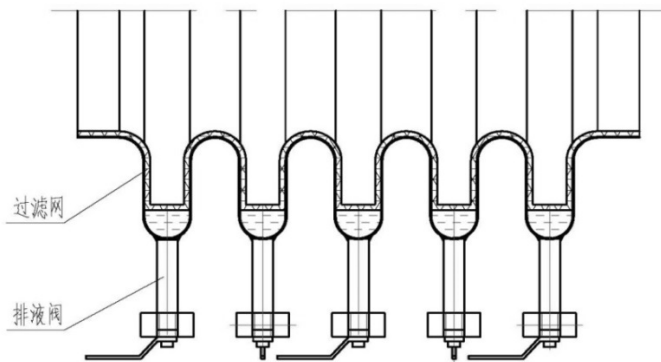


图1

此方法是通过局部改变波纹管的结构,及时将腐蚀性液体排出,同时在波纹管内壁安装不锈钢过滤网,以防止排液管被阻塞,以此来达到降低波纹管腐蚀的目的,它的优点是不必使用抗腐蚀性更高的材质或使用特殊的防腐材料和工艺,所以成本低,且施工较简单。它的缺点是波峰位置开孔会在局部影响波纹管的受力,进而影响波纹管的寿命,且开孔位置相较波纹管其他位置更容易腐蚀。

方法四:由于上述第一种方法有一定的缺陷,所以经过研究,我们提出来第四种方法,即不在波纹管上开孔,而是在旁边的接管上开孔,并安装排液阀和过滤网,利用排液管将波峰处的腐蚀性液体排出,以达到防腐的目的。图2为结构示意图:

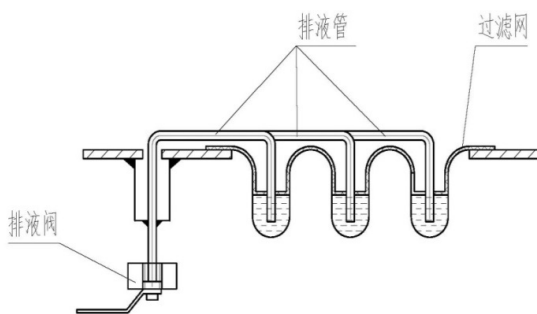


图2

这种结构的优点是既能将腐蚀性液体及时排出,又不会损伤波纹管,很好的弥补了方法三的缺陷。缺点是结构的制作工艺比方法三复杂。

通过交流,客户同意了以上两种方法。该项目2018年完工并投入使用,至今已有近三年时间,据现场反映,系统运行良好,波纹管腐蚀损坏问题再也没出现过。

### 5 非金属补偿器通过局部改变结构防腐

在工业中,不仅有金属补偿器,同时也有非金属补偿器,随着这些年工业的迅速发展,非金属补偿器的应用也越来越广泛,而非金属补偿器的防腐问题也越来越受到关注。

非金属补偿器的补偿元件是采用非金属复合材料制作,通常为纤维织物,相较于金属波纹管,成本低,制作工艺简单,但耐腐蚀性较差,所以适用于腐蚀性低的环境。随着这些年工业的发展,工业环境越来越复杂,要求也越来越高,而非金属补偿器的防腐问题也显得越来越明显。

2016年越南何静某钢厂,非金属补偿器在使用一年后出现不明液体渗漏现象,主要出现在蒙皮连接部位。经研究,是由于厂家低估了管道中物质的腐蚀程度导致在运行过程中补偿器腐蚀严重,以致腐蚀性液体流出。经过研究,我们给出以下两个解决方案。

方案一:采用防腐性能高的材质,将框架和连接件更换为不锈

钢,将蒙皮更换为强度和抗腐蚀性更高的材质。这种方法是比较常用的方法,他可以显著提高补偿器的抗腐蚀性,缺点是会大幅增加补偿器的成本。

方案二:在蒙皮上开排液孔。方法类似于波纹管上开孔的方法,通过排液孔及时将腐蚀性液体排出,以减缓补偿器的腐蚀。图3为结构示意图:

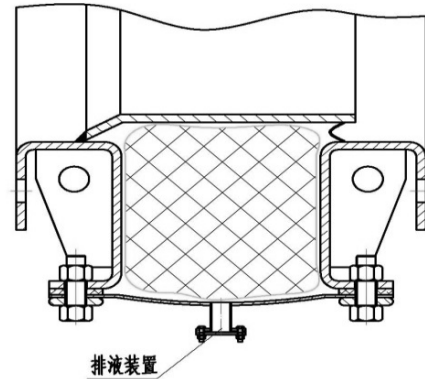


图3

它的优点是施工简便,相较于第一种方案能大幅节约成本。它缺点是由于蒙皮较软,排液阀容易使蒙皮局部下坠,会对蒙皮局部产生影响。

我方在补偿器的重新制作过程中,同时应用了上述两种方法,设备2018年投入使用,至今已有两年多时间,现场反应设备运行良好,有效的解决了补偿器的腐蚀性问题。

### 6 结束语

补偿器在工业中有着广泛的应用,而补偿器的防腐问题是其中一个重要问题,一直以来,补偿器普遍的防腐是通过改变材质,防腐材料,提高工艺水平来进行防腐,很少有通过改变结构的方法来解决补偿器的腐蚀性问题。目前普遍应用的方法,都各有缺陷,成本高或工艺复杂。本文通过实际的案例提出了一些通过改变结构来达到补偿器防腐的方法。相较于普通的方法,成本低,且工艺简单,容易实现,在现实实践中,也拥有良好的效果,对补偿器的防腐问题研究和应用具有一定的现实指导意义。

### 参考文献

- [1]李永生,李建国,等.波形补偿器实用技术[M].北京:化学工业出版社、工业装备与信息工程出版中心,2000,9.
- [2]段玫,钟玉平,等.金属波纹管补偿器通用技术条件(GB/T12777-2019)[M].北京:中国标准出版社,2008,12.
- [3]煤气管道系统用金属波纹管补偿器腐蚀分析与防护.罗士发等人第十届全国补偿器技术进展论文选集,2008,7.
- [4]罗士发.《波纹管设计与应用》会议交流报告.1993,5.
- [5]腐蚀金属学及耐腐蚀金属材料[M].浙江科学技术出版社,1981,8.