

使用手持式螺母扳手提升施工质量 (插塞型气冷式热交换器)

1. 前言

在炼油设备的机器或配管上连接着许许多多各种各样的法兰，杜绝从法兰部位发生泄漏是我们的使命，为此，加强对法兰部位的连接管理是我们每天的工作。

对于运转停止或开始时或运转过程中发生了泄漏的机器及因为经年老化而导致泄漏风险增高的机器，我们会重新对运转压力及运转温度进行再次确认，不仅增加高温高压和氢气环境及新的热油环境，如符合条件还重新检讨可进行定量管理的扭矩管理或轴力管理。此外，对于存在经年老化悬念的机器，将在下一次打开时对法兰进行表面磨光加工以便延长其使用寿命，或是进行机器的更换。我们将根据实际情况制定相应的对策措施。这种法兰部位的连接管理根据以往的保养成绩已经变得非常成熟，已经慢慢形成了一种明确的指针。因此，只要正确实施安全的维持提升和恰当的保养管理，是可以维持设备的可靠性的。

此外，除了法兰部位以外让人担心的是气冷式热交换器(以下称之为AFC)中高压部位所使用的插塞型AFC(以下称之为插塞型)的连接管理，它与上述法兰部位的连接管理不同，没有明确的指针。

本炼油厂拥有约340套AFC，设计压力超过3.0MPa的采用了插塞型。插塞型约有50套左右，其中大部分都为高压气体环境。从这个插塞型AFC的设备维持管理的观点出发，我们比较容易关注的是基于法律法规及不同使用条件，流体对配管的腐蚀和剩余寿命等问题。

另一方面，存在经年老化之外，使用膨胀螺栓(以下称之为螺栓)对金属平形密封垫片进行密封的结构容易导致发生泄漏，而且在SDM期间，有的机器由于在高压气体测试中的泄漏导致作业返工或因连续运转而没有打开，使运转管理和铁工施工对于开始运转时发生的泄露很关注。因此，除了根据检查周期实施机器的拆检外，同时，对于膨胀螺栓的连接管理还会对每个机器分别制定扭矩值，并使用扭矩扳手通过手工作业进行紧固。

但是，一套插塞型设备就有超过600枚螺栓，而且因为需要对多台设备进行拆检，故其数量非常之庞大，所需工时也会非常长。此外，因螺栓存在长年使用后会锁死的情况，故打开时需要谨慎操作，以免对螺纹造成损坏。而且在紧固方面，通过金属平形密封垫片对高压流体进行密封的这种结构对于紧固可靠性的要求也极高。

因此，监督人员细致地在职监督和管理，以及具有丰富经验和熟练技术的作业人员都是必不可少的。然而SDM期间中，监督人员需要负责多项工作，会非常忙碌，因此专门对这个AFC进行管理是非常困难的，所以现实情况是通常会将这方面的管理交给合作公司的现场负责人和作业人员。但是，近年来因受到人手不足等的影响，熟练工的招募也比较困难。如上所述，对于监督人员而言，对所有问题都进行管理是非常困难的，因此对现场负责人及作业人员则会要求更多，但是这方面的人才却正在减少。而且，面对这种必须要对上千枚螺栓实施连接管理的情况，其结果必然是连接管理一旦出现疏忽，泄漏风险也将因此而变大。

在这种情况下，我们一直在思考如何解决这些问题。此时，2019年2月株式会社华尔卡(以下称之为华尔卡)在本炼油厂举办了一场产品展示会，我们便去观摩了一下。到了现场，我们看到了各种各样的密封材料，衬里阀门，测量仪器等。我们四处去看了看，然后我们的视线就停留在了之前从未见到的东西上。

一个是可同时对法兰面间隙和阶梯差进行测量的测量仪器。法兰面间隙等的间隙测量的精度很高，是一款高性能的出色产品。另一个没见过的东西是手持式螺母扳手。

根据介绍，这是一款在华尔卡和汽车装配工厂有大量被采用的实绩，并且是与ESTIC公司共同开发的法兰紧固专用的电动工具。当时，我想到“这个技术能用到插塞型的螺栓紧固管理上吗”，于是我就对我担心的一些背景信息和课题做了咨询。当时在现场，我们就同意并约定在3个月后的SDM时进行试验，并进行一个现场的参观学习。

2. 以往的维护内容及其课题

对于实际现场的参观学习，以往的维护方法及其课题如Table1所示。紧固的情况如Figure1所示。

机器外罩上如算盘珠般排列着一排排螺栓，其庞大的作业量，以及依赖人手操作的工序之多，造就了一个容易引起人为错误的环境。其中尤其是在紧固时需要使用预置式扭矩扳手对每一枚螺栓进行仔细的紧固作业时，有些作业人员可能会在紧固时用力过猛，导致出现扭矩过量的问题发生。

Table1 维护内容及其课题

| 工序 | 内容 | 课题 |
|------------------|--|--|
| 1. 拆下螺栓 | 因为存在长年使用后锁死的问题，所以需要使用打击眼镜扳手小心翼翼地将螺栓从锁死的状态下解放出来。之后，再通过手工操作拆下。 | <ul style="list-style-type: none"> · 很费工时 · 因打击眼镜扳手造成红药水事故(轻伤事故) · 螺栓掉落 |
| 2. 螺纹部位的检修 | 对机器及螺栓的螺纹部位进行外观检查，如无问题则在进行清洁后涂上润滑材料以作保管。 | <ul style="list-style-type: none"> · 检修不良 |
| 3. 密封垫片安装和螺栓临时紧固 | 将密封垫片安装到机器上，并对螺栓进行临时紧固。 | <ul style="list-style-type: none"> · 忘记安装密封垫片或安装了2片 |
| 4. 紧固 | 使用预置式扭矩扳手，按规定的扭矩紧固螺栓(Figure1)。 | <ul style="list-style-type: none"> · 很费工时，而且费力。 · 根据操作方法，存在扭矩过量的危险。 |



Figure1 以往紧固时的情景

3. 手持式螺母扳手的试验内容

试验中所使用的手持式螺母扳手如Figure2所示。这个手持式螺母扳手，其各工具模块与控制模块是通过有线方式进行连接的，然后通过事先设定好的紧固程序实施紧固控制。此外，还能从控制模块上的USB以CSV方式输出紧固结果，可对紧固结果进行电子记录。再者，其动力需要使用200V的电源。



工具模块 高速型



工具模块 高扭矩型



控制模块

Figure2 手持式螺母扳手

Table2 手持式螺母扳手的规格

| | 高速型 | 高扭矩型 |
|--------|-----------------------------|---------|
| 全长 | 466mm | 649mm |
| 重量 | 2.5kg | 11.0kg |
| 最大紧固速度 | 480rpm | 55rpm |
| 最大紧固扭矩 | 80N·m | 1300N·m |
| 主要功能 | 程序控制 (角度, 扭矩控制) 电子记录等 | |

使用该手持式螺母扳手替代原先的作业，对提升紧固精度和解决各种课题进行了试验。

首先，在工序1的拆下螺栓过程中，在从锁死状态下解放出来的作业中使用了高扭矩型工具模块(以下称之为高

扭矩型)。作业情景如Figure3所示。



Figure3 使用手持式螺母扳手进行作业时的情景

在从锁死状态下解放出来时，如果使用蛮力拧松螺栓的话，螺纹部位可能会因此而受到损伤，最糟糕的情况下机器侧的螺纹部分可能会出现扩张问题，从而导致需要重新进行攻螺纹的处理。如果这样的话，工期就可能会出现延期。因此，我们对以往由熟练工操作的，通过打击眼镜扳手来从锁死状态下解放出来的作业进行了观察，发现他们仅在一定角度内做松脱操作。因此，我们对使用高扭矩扳手将各螺栓从锁死状态下解放出来时所需的旋转角度进行了监视。其结果中的一例如Figure4所示。

结果表明，从锁死状态下解放出来时的旋转角度最大情况下松脱 20° 即可毫无问题地从锁死状态下解放出来。

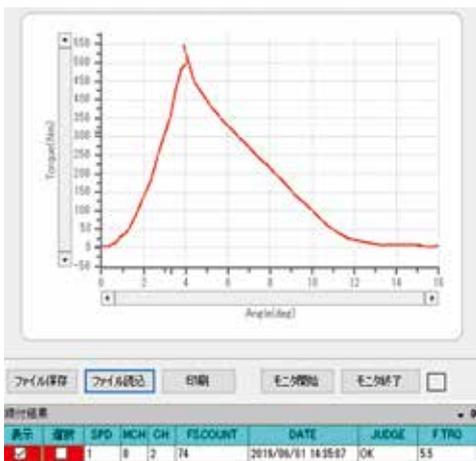


Figure4 旋转角度监视器

在将所有螺栓从锁死状态下解放出来后，接下来使用高速型工具模块(以下称之为高速型)进行拆卸作业。以往在进行这项作业时，会在手动操作旋松螺栓的同时检查螺栓有无“卡顿”问题。因此，我们对正常的螺栓和存在“卡顿”问题的螺栓在旋松时的扭矩值进行了比较。其结

果中的一例如Figure5,6所示。

正常的螺栓如Figure5所示，1Nm左右的摩擦力扭矩连续施加即可拆下。另一方面，存在“卡顿”问题的螺栓则如Figure6所示，其摩擦力扭矩较高且不稳定，所需扭矩值会越来越高。因此，我们发现想要检出这种存在“卡顿”问题的螺栓时，可将 $10\text{N}\cdot\text{m}$ 设为上限，然后通过自动停止控制即可实现。此外，因为AFC安装在高处，因此在拆卸螺栓时，可能会不小心致使螺栓坠落。针对这个问题，可根据所使用螺栓的螺纹数，配合在快要拿下来前停止旋转的功能来防止出现这种情况。这一点尤其是受到了现场工作人员的好评。

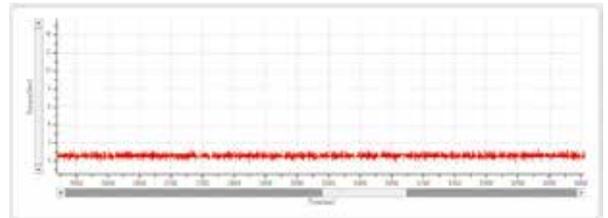


Figure5 正常的扭矩值

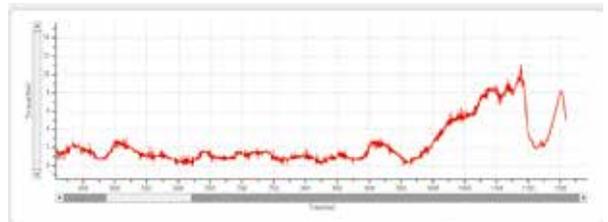


Figure6 异常的扭矩值

螺栓取下后，对机器及螺栓的螺纹部位进行检查，之后在螺栓上涂上润滑剂之后进行临时紧固。在这个工序中，我们使用了高速型，采用了与拆除时相反的方法实施临时紧固，将螺栓安装到了机器上。对于临时紧固时发现了“卡顿”现象的，则通过程序控制执行自动停止，然后再对其进行重新检修。

等待所有螺栓均完成了临时紧固后，再使用高扭矩型进行正式紧固。其结果如Figure6所示。对于 $392.2\text{N}\cdot\text{m}$ 的目标扭矩，实现了 $\pm 1\%$ 以内的高精度紧固。并且，对于这个紧固结果还可以通过CSV输出实现电子化。对于忘记紧固的问题，只要查看该记录就能起到很好的防范作用。

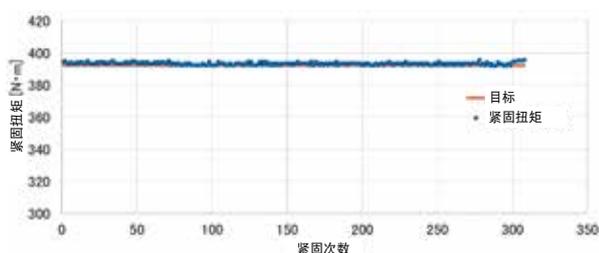


Figure7 紧固结果

这里将所有工序的工时缩减效果进行了比较，结果如Figure8所示。这是对一枚螺栓所需的作业时间在各工序中进行的比较。结果在所有工序中，均实现了工时的缩减，整体上缩减了40%。此外，在以往的作业中，根据作业人员体力上的差异，外加作业时间，休息次数等原因使作业完成所需时间可能会出现一定的差异。但是，使用了手持式螺母扳手后，因为已事先对紧固内容做了编程，故只要按下操作按钮就可以了，因此也就不会再出现因作业人员的不同而带来的作业时间上的差异了。

在这次使用手持式螺母扳手进行的试验中，在询问了实际使用手持式螺母扳手进行作业的作业人员后，得到了“之前的辛苦感觉都像是假的一样”，“尤其是正式紧固可是一件苦差事，第二天肩膀都抬不起来，这个太好用了”的反馈。因此，我们认为这套工具可以推行到现场使用。

一枚螺栓的作业时间比较



Figure8 作业工时的比较结果

4. 结语

在这次的试验中，我们成功缩减了工时。此外，最为重要的是对此前都是依靠熟练工的感觉实施的螺纹部位的异常检测实现了数值化和自动化。以极高的紧固精度实现了目标扭矩，从而提高了设备维持相关的可靠性和施工的品质。而且，协助作业的作业人员对此的反响也非常好。

今后，在本炼油厂，将在所有插塞型AFC上使用手持式螺母扳手，还将对各种机器进行验证。对于在本次的试验中没能检验的异物混入及密封垫片忘记安装或安装了2片等现场容易发生的问题，我们计划与华尔卡一起进行实验室评估。这样，现场和实验室验证同时推进的话，相信可以实现更高效率的评估。此外，对于所获得的结果，我们将会告知采用了支持插塞型AFC的用户。

最后我想说，我们这次试验从展示会时的咨询到开始试验，其实才用了3个月的时间，虽然用时非常之短，但成果却是超出了我们的预期。如果没有参与本次工作的所有人员的热情和团队合作，是万万做不到如此成功的。手持式螺母扳手生厂商株式会社ESTIC的饭田先生以及技术担当土田先生，还有参与了本次工作的所有相关人员，在此我要向你们表示衷心的感谢。



长谷川 诚
昭和四日市石油株式会社
四日市炼油厂
制造一部 制造一课



山边 雅之
H&S 营业本部
本部长助理