

应用于法兰设计及密封设计中的浮动预紧



碟簧设计手册



前 言

国际先进的浮动预紧技术

——应用于法兰设计及密封设计中的浮动预紧

工业生产中有大量的法兰连接应用，泄漏是法兰连接最常见的问题之一。热胀冷缩、压力变化、机械振动以及流体介质的作用都会造成垫片预紧力变化，而垫片本身有限的弹力回复性能以及固有的蠕变松弛使其很难满足这样的系统要求，这是垫片密封失效的重要原因。同样的问题也存在于阀门密封系统。这里，我们称这样的系统为浮动系统。

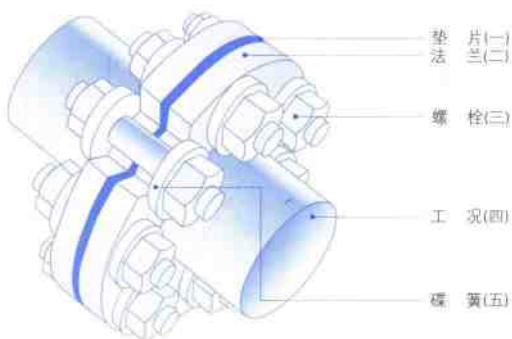
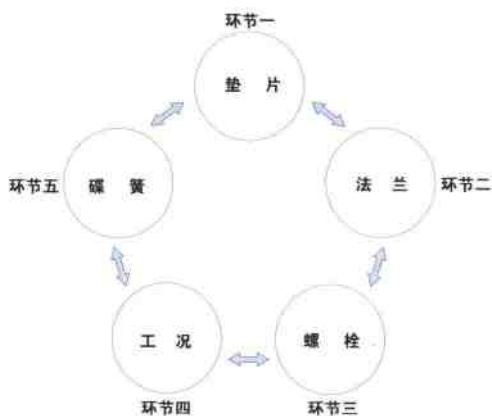
浮动系统一般由法兰（阀门）、螺栓和垫片（密封）及具体工况等部分组成，这里螺栓是提供密封压紧力的部件。研究表明，大部分的泄漏是由螺栓的预紧力减弱或丧失引起的，这是客观存在并且难以消除的现象。本手册在浮动系统中引入了碟簧这一弹力补偿机构，在螺栓预紧力降低时，它可以提供密封件适当的比压而使之保持密封，我们称之为浮动预紧系统。但碟簧的补偿力偏小或过大都不能实现预期的目的，因此，我们全面考虑了这一系统中各部件材料、温度、压力等特性，以及大量的实用信息，推出了AIG-LLCS浮动系统预紧力网上计算软件，以便用户可以合理的确定预紧需求。

本手册中的浮动预紧系统包括法兰、螺栓、垫片、碟簧和设备的使用工况等要素，这些要素相互作用与影响，不能孤立的去考虑问题，当然，改进其中的任何一个环节都有利于这个系统的稳定运行。实际应用中，我们也要注意人为操作可能产生的影响。

这种技术随着国内电力、石化、冶金的高速发展，随设备及其更新被引进国内。因为对此技术的不了解，很多场合被误认为是普通碟簧，本手册的目的主要是向广大工程技术人员介绍国际先进的浮动预紧系统的设计原理，以利于大家更好地选择和使用预紧产品，解决换热器、管线法兰、阀门密封等浮动系统的预紧问题。因为时间以及编者水平所限，不当之处恳请批评指正。



法兰与密封浮动预紧系统包含以下环节：





目 录

一.应用于螺栓、法兰密封的浮动预紧系统	1
1.1 浮动预紧需求的原因	2
1.2 温度与压力变化的系统分析	3
1.3 浮动预紧系统组成	6
二.LLCS 浮动预紧计算系统	8
2.1 LLCS简介	9
2.2 系统登陆与使用	11
2.3 为什么要选择合适的浮动预紧力	12
三.垫片密封的浮动性	14
3.1 常用垫片形式	15
3.2 缠绕垫片	18
3.3 波形活压垫片	28
3.4 垫片与浮动系统	34
3.5 垫片浮动性能的局限	39
四. 浮动预紧碟簧的设计原理	40
4.1 浮动预紧碟簧	41
4.2 碟簧基础	42
4.3 碟簧材质	52
4.4 碟簧应用	55
4.5 碟簧的设计工艺与技术要求	60
4.6 碟簧的强度与许用应力	62
五.浮动预紧碟簧的分类应用	64
5.1 法兰预紧碟簧应用	65
5.2 阀门预紧碟簧应用	68
5.3 螺栓防松动碟簧应用	70
5.4 缓冲拉伸碟簧应用	71
六.AIG标准碟簧设计规格表	72
6.1 法兰预紧碟簧	73
6.2 阀门预紧碟簧	80
6.3 螺栓防松动碟簧	81
6.4 缓冲拉伸碟簧	82
6.5 AIG订做碟簧系列	92



七.附录	115
7.1 浮动预紧系统常用词解释	116
7.2 浮动预紧系统常用单位换算	117
7.3 法兰连接尺寸与密封尺寸	120
7.4 碟簧生产企业简介	141
7.5 AIG服务网络	144



一. 应用于螺栓、法兰密封的浮动预紧系统

- 1.1 浮动预紧系统的原理
- 1.2 系统可作为安全的密封系统
- 1.3 浮动预紧系统的优点



1.1 浮动预紧需求的原因

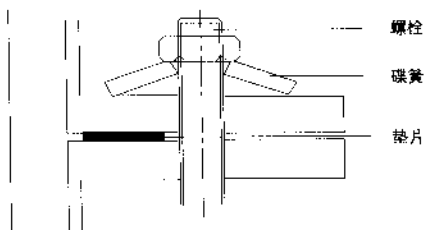
在工业企业中，存在着大量的法兰连接。这些法兰连接通常由法兰、螺栓和垫片等部分组成，泄漏是这些连接的常见问题。通常，人们认为这是由垫片质量不足导致的，但研究表明，有50%~80%泄漏是由螺栓的预紧力松弛引起的。设备温度的变化、压力的变化以及机械振动均会引起螺栓预紧力松弛，当螺栓预紧力不能满足垫片密封所需要的最小预紧力时即会产生泄漏。设备在工作时，温度的变化、压力的变化以及机械振动是客观存在的，它们对螺栓预紧力的影响难以消除，一般只能设法减弱。

法兰提供了连接和分解容器或管道两个组成部分的平台，提供了密封垫片的安装位置，而螺栓作为一弹性体将法兰紧固在一起从而产生并保持在垫片上的压紧力。施加在螺栓上的载荷必须满足垫片发挥密封作用所需的压缩力。该系统内任一组成部分出现问题，都会影响到整个紧固系统的使用状态。

实际运行中温度变化、压力波动常常导致这一浮动系统的密封出现问题。法兰、螺栓之间的热胀冷缩速率不同，这直接引起螺栓施加于垫片上的预紧力减少或丧失；不规则的振动可以导致垫片被永久压溃及变形；流体介质的作用降低了螺栓预紧力作用于垫片的效果；垫片自身有限的弹性补偿和固有的蠕变松弛使其难以满足浮动系统中的密封要求。

本手册中的浮动预紧系统在法兰连接中引入了碟簧，这是一种弹性补偿元件，它有效地解决了法兰连接中的螺栓预紧力松弛问题。当螺栓拧紧时，吸收机械能转化成位能(势能)储存在碟簧中，当设备由于温度变化、压力变化或机械振动导致螺栓的预紧力松弛时，释放位能(势能)转化成机械能，对螺栓的预紧力进行补偿，使螺栓的预紧力始终保持在垫片密封所需要的预紧力范围。

为使浮动系统保持稳定的预紧力，使用碟簧补偿是很好的方法。但不同碟簧的材质、载荷、规格、弹力性能等均有不同，在特定的工况下，螺栓、垫片所需要的载荷补偿只有在一定范围内才是有效的，所以有必要进行预紧载荷计算。



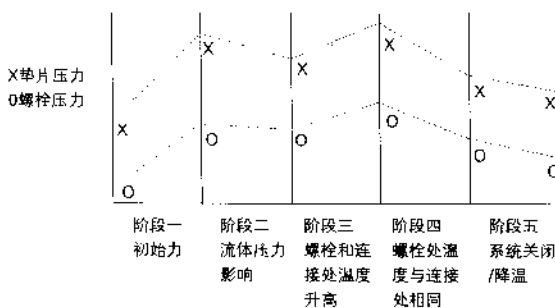
1.2 温度与压力变化的系统分析

在浮动预紧系统中，我们分析了材料热胀冷缩与系统压力冲击问题，下面以换热器为例进行分析。

螺栓连接中，热胀冷缩的影响经常被忽视。温度对螺栓有多重影响，温度升高会导致螺栓膨胀，同时强度下降。因此，螺栓实际所载荷会随着温度的变化而浮动变化，可能导致在不施加额外载荷的情况下，螺栓也会受到超过极限值的力。如果在室温下对螺栓施加占其强度极限值90%大小的力，然后加热到它所能允许的最高温度值，那么材料的强度极限会随之下降，可能在低于所施加载荷的情况下也会失效。

长时间的高温可能导致螺栓的松弛，而改善螺栓在高温下松弛最简单的办法首先是选择合适的材质。考虑热胀冷缩对法兰的影响是比较复杂的，不仅要考虑螺栓的膨胀和冷缩，也要考虑法兰是否能满足(当然也需要考虑垫片的热胀冷缩，但是为了方便，在此我们只考虑法兰和螺栓)。

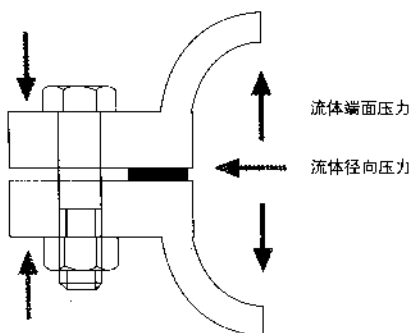
不同的材质的膨胀率和收缩率是不同的。当温度升高，螺栓的长度和法兰的厚度都在增加，但它们增加的速度不同。根据材料的特性，它们热膨胀速度不一样。同时也需要考虑不同的材质的尺寸也不一样(螺栓的长度大于法兰的厚度)，下图描述了热胀冷缩对换热器上垫片密封法兰的影响，同时这一状况也适用于其它受热变化的垫片密封法兰。





阶段一：装配中，随着螺栓和垫片载荷的增加，在装配好的法兰上所受的初始力。

阶段二：流体作用力的影响（见下图）。在系统启动时，内在流体压力推动并倾向分开两法兰表面。螺栓的载荷基本保持不变，而垫片的负荷降低。得出结论：螺栓的变化速度小于法兰的变化速度。



阶段三：法兰连接处温度升高。温度升高时法兰厚度增加的速度快于螺栓长度增加的速度。温度升高，法兰厚度增大，法兰增加了对其余部件的力，导致在垫片和螺栓上的载荷增大。当法兰的温度达到最高时，法兰厚度不再增加，此时，垫片出现压力的峰值。

阶段四：法兰厚度停止增加后的螺栓长度持续增大，引起垫片和螺栓上的载荷逐步减小。当螺栓长度停止增大，垫片上的力也处于一个稳定的状态，垫片的受力从第三阶段起点到第四阶段终点之间会相对减小，这是因为温度升高增加了垫片的蠕变（爬行），并且任何垫片都不会100%地恢复到初始状态（垫片越厚，这种变化越严重）。



阶段五：除去热源后，相反的热循环产生了。法兰厚度和螺栓长度开始缩小，而法兰的收缩比螺栓更快。注意当最初的载荷施加到螺栓时，螺栓会被拉伸，当法兰收缩时，螺栓拉伸状态存储的能量使螺栓与法兰一起收缩，并且开始丧失储存的能量。当螺栓载荷降低，垫片的受力也会减小，这是泄漏发生的典型情况。在某些点，垫片的受力会减小到低于实现密封所需要的压力，这样介质就会从垫片处泄漏。垫片会有一定程度的回复，即在其受压减小时，厚度会相应增大，但是这种回复程度相对于法兰和螺栓尺寸的变化，显得极其微小甚至可以忽略。当压力减小时，除非系统再次运行，否则很可能察觉不到泄漏已经发生。

为了解决实际应用中因温度变化引起的这些问题，一种好的办法就是在法兰面上对螺栓进行额外弹性预紧，这就是浮动预紧（Live-Loading）。当温度变化时，使用碟簧以提供额外的弹性能量来保持螺栓的预紧力。碟簧能够通过很小的行程获得很高的力。一般法兰，从螺栓孔中心到法兰外缘之间的线性距离并不大，而碟簧刚好可满足安装空间小的需要。在对螺栓施加扭力作用下，碟簧被压缩到一定程度并储存能量；当螺栓开始收缩或者载荷减小时，碟簧开始恢复形状，并将储存的弹性能量转化成力施加到法兰面上，同样，在法兰不同部分受到热胀冷缩的影响时，碟簧能将预紧力保持在使垫片不发生泄漏的范围之内。

上述问题在热交换系统中极为常见，这是一个复杂的浮动变化系统，其中每一个环节的改善都会为这个系统更稳定更安全的运行带来益处。比如，我们可以选用弹力回复性能更好的垫片，选用适合材质的螺栓并合理控制摩擦，采用额外的预紧补偿并合理确定预紧力等等，以实现浮动系统的浮动预紧。



1.3 浮动预紧系统组成

本手册中的浮动预紧系统包括法兰、螺栓、垫片、碟簧和设备的使用工况等五个要素，这五个要素相互联系，相互影响。下面简单介绍这几个部分，在后面的内容中会有较为详尽的分析。

● 法兰

法兰主要分为设备法兰和管法兰两类，其表面形式有：凸面法兰RF（用于中、低压工况）；平面法兰FF（用于低压工况）；凹凸面法兰MFM（用于中、高压工况）；榫槽面法兰TG（用于中、高压工况）；凹平面法兰FG（用于中、高压工况）；梯形面法兰RJ（用于中、高压工况）。

● 螺栓

螺栓是最为常用的连接和紧固部件，常见螺栓材料有碳素钢、合金结构钢螺栓、耐热钢、不锈钢等。在浮动预紧中，螺栓的数量、材质、规格都是重要的影响因素。尤其是高温、高压的工况中，螺栓的选用以及螺栓在应用过程中产生的变化在浮动预紧的设计中都是十分重要的。

● 垫片

化工、电力、冶金等行业中，法兰连接处，各种工艺管线、仪器仪表接管与设备、机、泵、阀门法兰连接处等普遍选用垫片密封。垫片是静密封中应用广、用量大的产品。垫片材料有非金属类（纸垫片、石棉橡胶垫、石墨板材、压缩纤维板材等）、金属复合型（金属包垫、金属缠绕垫）、金属类（金属平垫、波形垫、齿形垫等）等。AIG 有完善的垫片系列产品，详见AIG 无石棉垫片工程手册或公司相关产品资料。

● 碟簧

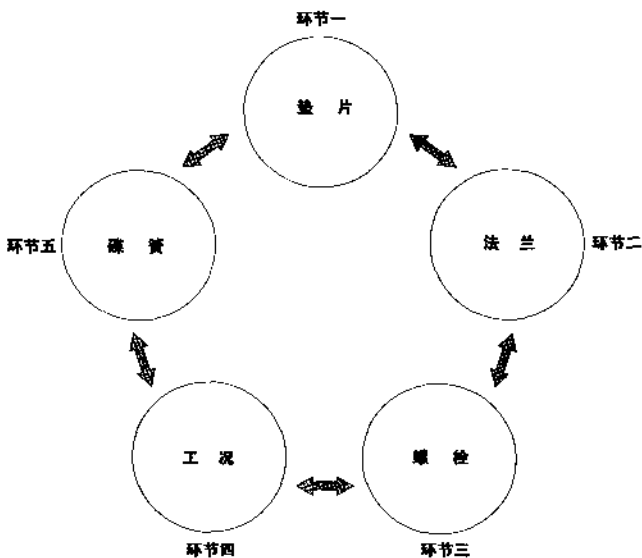
预紧碟簧是一种主要用于法兰或阀门密封中，提供螺栓预紧力补偿的碟形弹簧。它综合利用了碟簧的结构、形状、材质及热处理后的特性，当螺栓拧紧时吸收机械能转化成位能（势能）储存在碟簧中，当螺栓因温度变化、振动、压力差变化造成预紧力松弛以及螺栓本身啮合的松弛时，释放位能（势能）转化成机械能，对螺栓进行预紧力补偿，使螺栓始终保持在垫片或填料密封所需要的预紧力，实现防止泄漏的目的。由于碟簧具有使用简单、预紧力补偿能力强、安全可靠等优点，已广泛应用于电力、钢铁、港口、化工、机械、矿山、汽车制造、石化、有色金属、电子、食品、造纸等行业的设备法兰或管法兰、阀门等设备。



AIG 有完善的碟簧系列产品,详见本手册相关信息,并欢迎拨打800-8289829 免费电话了解密封事业部相关产品和服务。

● 工况

浮动预紧系统是一个完整的体系,就像选择垫片我们至少要考虑到温度、压力等情况一样,不能将其中一项单独考虑。在后面的浮动预紧计算系统中,选择碟簧的规格、材质、载荷等,都是与所处的环境、所选用的密封种类、所用的螺栓状况等密切相关。



浮动预紧的五个环节



二、LLCS 浮动预紧计算系统

2.1 LLCS简介

2.2 系统登陆与权限

2.3 为什么要选择适合的浮动预紧力



2.1 LLCS简介

2.1.1 LLCS计算系统

基于前述需要, AIG密封事业部总结了大量应用案例(截至2006年6月份, AIG浮动预紧系统已成功应用于超过1,300,000个预紧点, 在国内数十家冶金、石化业用户获得书面好评), 根据相关材料、密封、螺栓、法兰等信息建立了庞大的数据库, 依据科学计算方法, 开发了LLCS(Live-Loading Calculation Software)浮动预紧计算系统。我们认为, 浮动预紧系统至少包含以下几个环节, 并且在系统中充分考虑了这些环节的相互影响。

● 环节一

密封的选用会影响这个浮动系统需要什么样的螺栓预紧力, 以及满足工况的需要;

● 环节二

通常情况下, 法兰是和密封垫片、连接螺栓三者组合成一个密封结构, 法兰的形式及材质取决于系统工况, 并对密封垫片、螺栓等的选择产生影响;

● 环节三

螺栓的强度是否合适, 以及数量、规格、材质等都是这个浮动系统的重要因素;

● 环节四

工况的重要性自不必说, 所有的有效维护无不基于对工况的了解;

● 环节五

浮动预紧系统(LIVE-LOADING)的材质、行程、回复力、厚度、强度等等, 是关系到这个浮动系统是否有效的关键环节。



整体维护结论

- 1.这几个部分是一个有机结合的整体，它们相互作用并影响着设备是否正常运行。
- 2.浮动预紧（LIVE-LOADING）是该系统的一部分，选用浮动预紧（LIVE-LOADING）必须从整体考虑，这就像选用眼镜必须验光一样，好的选择首先是合适的的选择。

经过该系统计算确定的预紧载荷可以使浮动系统在温度、压力变化时在垫片上保持使之实现密封的合理预紧力。

2.2 系统登陆与使用

该系统仅对AIG客户开放，选用AIG相关产品后，可根据业务人员提供登陆信息或者申请成为该系统用户，可以长期使用该系统为作为浮动预紧系统日常维护工具。

使用步骤：登陆系统—输入必要数据—计算并输出 预紧力

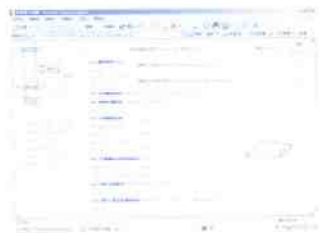
1. 网上登陆该系统，根据AIG提供的登陆信息，逐级进入计算系统；
2. 根据用户浮动预紧实际工况，填充、选择必要的数据库。尽管该系统在设计时已包含了大量的常用信息并作为基本数据库，但实际应用中不同的设备、温度、压力以及螺栓垫片情况等毫无疑问需要您进行确定；
3. 根据您输入的必要信息和系统自备的数据库，该软件将自动计算出建议预紧力数值。该数值满足垫片性能、螺栓强度以及温度与压力等状况的系统需求。同时，该系统会对您输入的数据进行分析，对于不合适的垫片、螺栓等选用情况作出警示，以最大限度地避免人为失误；
4. 浮动预紧力的计算设定，将对您选择合适的预紧产品提供依据，避免预紧过度或者不足。

以下为几个操作界面示意：

1. 系统登陆（注册）



2. 输入必要数据





3. 输出浮动预紧要求



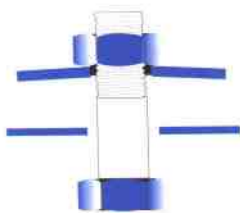
回复力要求 = (举例) 467440.5(N)

4. 可根据计算结果选择符合浮动预紧系统要求的碟簧回复力。

2.3. 为什么要选用合适的浮动预紧力?

1. 泄漏的1#原因：预紧力过小

热胀冷缩、压力升降、机械振动以及流体介质的作用和阀门填料的体积损失，会使螺栓作用于垫片的压紧力降低或丧失，此时必须对法兰垫片（阀门填料）施以满足密封所需的最小预紧力才能实现密封。



回复力不足 → 泄漏