

小口径旋翼式水表传动轴系研究及优化探讨

宁波水表股份有限公司 徐亮

摘要：介绍了小口径旋翼式水表传动轴系的组成，对构成轴系的部件及各部件对于轴系影响的因素做了分析。在对影响因素分析的基础上，提出了具有针对性地改进优化设计方案。提出了以寻找叶轮重心的思想来结合轴系的优化设计。最后，提出了用轴承作为轴系组成部件的设计方案。对提高轴系的运行稳定性作了分析和探讨。

关键词：传动轴系；影响因素；优化设计；重心；轴承

0 引言

“水表”是流量仪器仪表范畴中应用最广泛、品种规格最为丰富的一种水计量产品，在用水量的计量与贸易结算，工业过程测量与控制等方面有着举足轻重的地位和作用。在现在水资源普遍缺乏的情况下，全社会对水计量的要求越来越高，因此，研究和探索满足新形势下适合各种使用条件的水表，并扩大其流量测量范围、延长工作寿命、提高仪表智能化程度等已成为水表行业研究人员不懈的追求。

从上世纪90年代开始，随着工业制造水平、模具制造及注塑工艺水平的提高，水表的零件制造精度较之前有了较大水平的进步，水表的计量等级一跃从A级表跨入到B级表的时代，并在此基础上，向C级表乃至D级表的发展方向迈进。

从2007年开始，水表执行标准由原来的GB/T 778-1996变为GB/T 778-2007，新标准对于水表小流量到分界流量的范围较老标准要窄得多，因此对于水表的流量误差以及水表的制造精度提出了更高的要求。尤其是在水表量程范围扩大时，这一要求就显得更高。如何在现有的技术条件下，优化及改变现有的水表结构特点，从而改善和稳定流量特性，提高一次性合格率，是我们必须面对及考虑的问题。

在总的水表市场需求来说，小口径水表在水表总量中占有绝对多数，每年有大量的的小口径水表投放市场使用，为用水计量和节约用水管理提供有效测量工具，因此它在水计量领域的重要性是不言而喻的。就机械式小口径水表而言，其分为旋翼式水表和活塞式水表两种，而旋翼式水表占的比重最大。因此，对于小口径旋翼式水表的研究就显得尤为重要。

而影响小口径旋翼式水表性能的关键因素，是水表计量机构的传动轴系部分。分析、研究水表的轴系结构，对于提高和稳定水表流量特性，优化水表产品结构有着至关重要的作用。

1 小口径旋翼式水表现有传动轴系结构组成

小口径旋翼式水表分为单流束水表和多流束水表两种，而这两种水表在轴系传动的结构是类似的。现以多流束水表为例，来介绍现有的小口径旋翼式水表的传动轴系结构现状。

小口径旋翼式水表按计数器是否浸水又可分为湿式水表和干式水表两种。先分析一下湿式水表的传动轴系组成，见图1。

从图1我们可以看出，小口径多流束湿式水表的传动轴系由以下几部分组成：I 叶轮盒；II 叶轮盒顶尖组件；III 叶轮；IV 玛瑙；V 叶轮衬套；VI 叶轮轴；VII 上夹板；VIII 上夹板衬套；

其中，叶轮盒顶尖组件压在叶轮盒里面，玛瑙压在衬套中，衬套压在叶轮中，叶轮盒顶尖跟玛瑙接触配合；上夹板衬套注塑在上夹板中，叶轮轴在上夹板衬套中配合；叶轮盒顶尖

组件在制作过程中也一套工艺流程来保证它的同轴度。所有与轴系有关的元素相关的配合尺寸与形位公差都有很高的要求。

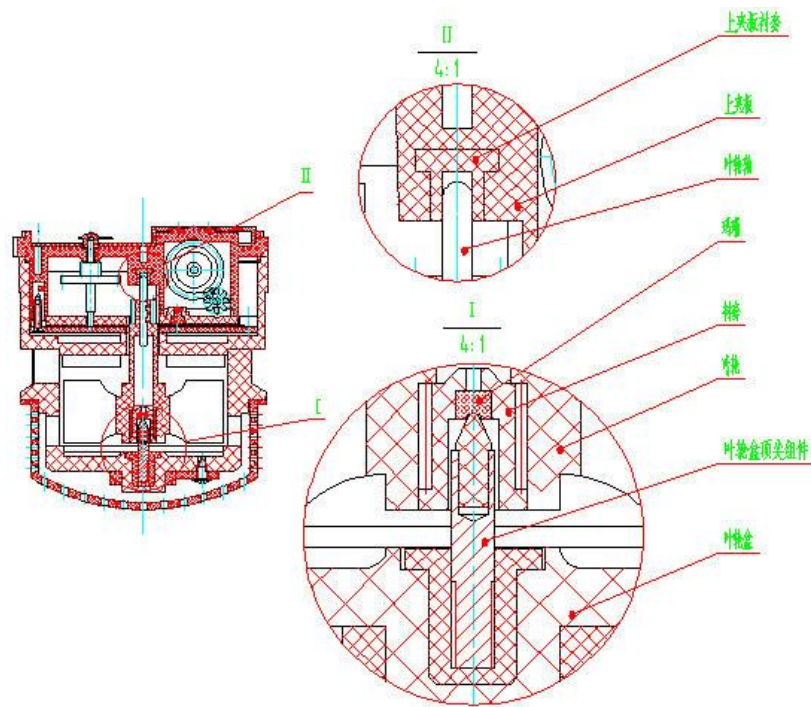


图1 湿式水表的传动轴系组成

与湿式水表轴系结构类似，小口径干式水表的轴系结构如图2所示：

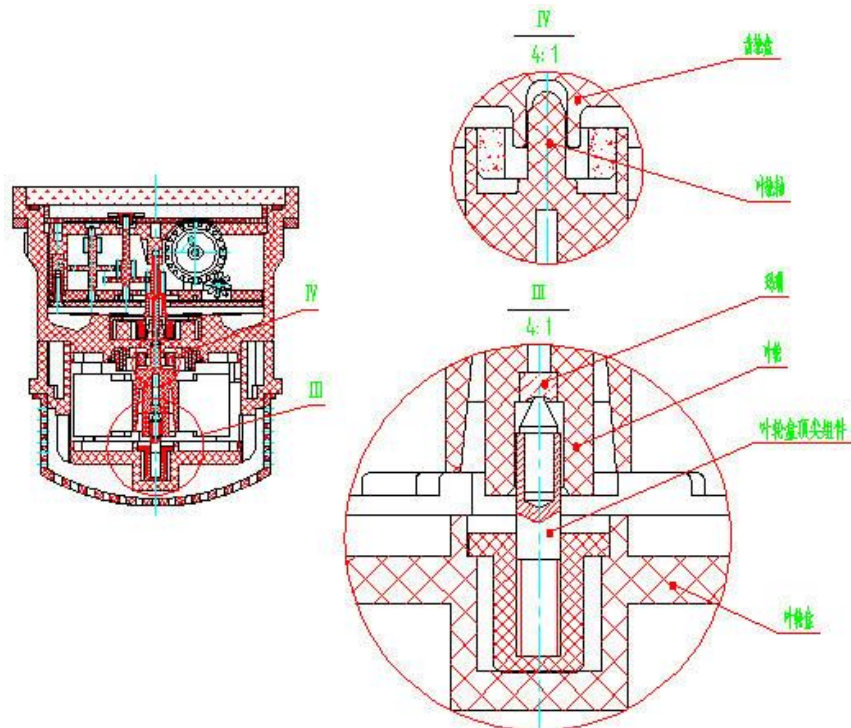


图2 干式水表的传动轴系组成

从图2我们可以看出，小口径多流束干式水表的传动轴系由以下几部分组成：I 叶轮盒；II 叶轮盒顶尖组件；III 叶轮；IV 玛瑙；V 叶轮轴；VI 齿轮盒。

相关的配合要求与湿式水表类似，这里不作累述。

2 影响旋翼式水表传动轴系稳定的因素分析

以下以湿式多流水表轴系结构为例说明。

影响轴系配合有关的因素有两个方面组成：传动轴系组成部分的制造精度以及轴系结构的设计方式。

2.1 传动轴系组成部分的制造精度

在传动轴系的组成部分中，叶轮盒顶尖孔的同轴度、顶尖组件的同轴度、叶轮底部衬套孔的同轴度、衬套玛瑙孔同轴度、叶轮轴同轴度、上夹板衬套中孔相对于上夹板的同轴度、玛瑙凹面的中心度等等都有很高的要求，与轴系相关的因素很多，任何一个有关部件出现问题，都会对整个轴系精度产生致命的影响。尽管相关部件的同轴度形位公差要求比较高，但由于相关部件多，即使每个部件都符合形位公差的要求，各个形位公差之和累积到一定程度，也会对轴系精度造成影响。更何况相关部件的制造精度也比较难符合相关的技术要求。随着水表性能要求及流量特性的提高，这一矛盾就更加突出。

2.2 轴系结构设计的影响

在轴系设计当中，叶轮盒顶尖与衬套中孔之间存在着径向间隙，叶轮轴与上夹板衬套存在径向间隙，且叶轮轴顶端与上夹板衬套底端存在轴向窜动间隙。存在径向间隙的目的，是为了顶尖和叶轮轴不直接与衬套接触，减少摩擦和磨损。存在轴向窜动间隙的目的，是为了在水表扳紧时不把叶轮压死，且减少叶轮轴的摩擦和磨损。

从图示1（I）中可知，叶轮盒顶尖头是直接跟玛瑙的凹槽面顶端相接触，顶尖头设计比较小且尖，目的是使叶轮直接与玛瑙点接触配合，最大程度地减少叶轮转动的摩擦阻力，增加叶轮转动的灵敏度。

实际情况是，叶轮组件的重心与叶轮和顶尖接触配合的部位有一定的距离，顶尖头与叶轮的点接触配合不能够保证叶轮保持竖直，由于径向轴系间隙的存在以及重心的作用，势必会使叶轮产生倾斜，致使叶轮与轴套之间产生线接触或者说是多线接触。见图3。实际情况是，叶轮转动产生的摩擦阻力不止由顶尖头跟玛瑙的摩擦产生，而且还有顶尖轴或叶轮轴跟衬套产生的摩擦力存在。当流量越小时，这一摩擦的影响就显得越大。

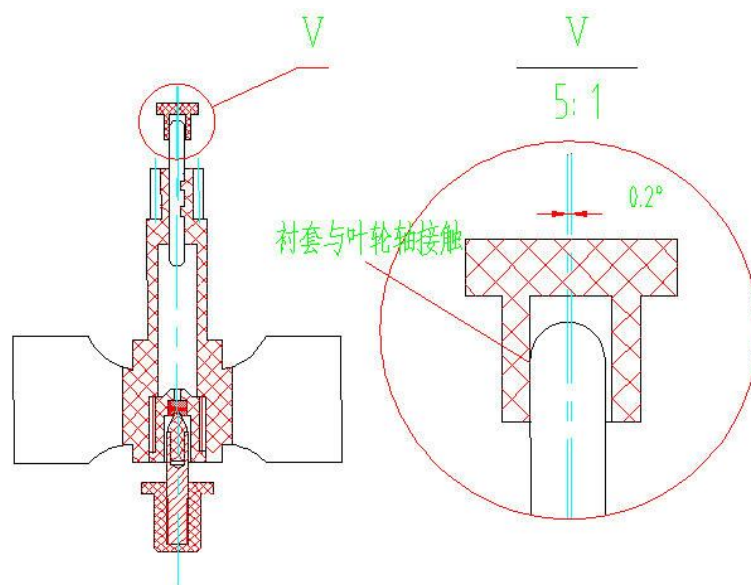


图3 叶轮实际所处的状态

由于径向间隙和轴向间隙的存在，叶轮在实际工作中并不是处于所认为的转动状态，而是处于旋转摆动状态。在大流量紊流流量状态下时，叶轮处于上下窜动且摆动旋转状态；在小流量的层流流量状态下，由于叶轮自身的重力作用，叶轮并不会上下窜到，而是处于摆动旋转状态。在大流量状态时，叶轮的窜动和摆动产生的摩擦力和不稳定性对水表性能的影响作用并不明显，随着流量的减少，这一影响量就逐渐显现出来。随着摆动的不稳定性及摩擦力对叶轮的影响力增大，水表的流量性能会随之有很明显的变化。干式水表对于叶轮的窜动和摆动的敏感性更甚。

3 旋翼式水表传动轴系的优化改进方案探讨

针对上述影响旋翼式水表传动轴系稳定因素的分析，可以有针对性地提出相应地解决方案。以提高转动轴系的稳定性。

3.1 加强轴系组成部件的质量监控

对于转动轴系的组成需要有清晰的认识和理解。其中，传动轴系组成的部件中的关键尺寸需要重点把控，尤其是形位公差的测量。建立健全一整套的针对轴系部件的测量体系，通过先进的测量手段和方法，对零部件的关键尺寸和形位公差进行测量和质量的把控。

3.2 优化传动轴系结构设计

3.2.1 现有结构的改进优化

由于现有传动轴系本身结构的固有特点，即使传动轴系的部件制作的质量合格，叶轮也始终是处于倾斜状态，运转时也不能避免存在着摆动现象的产生。但这并不意味着对于传动轴系部件的检测是可以忽略的。而且还需要加强检测和控制。

从根本上改善传动轴系的现状，从而提高水表的计量特性和稳定性，需要从结构设计方面来加以改进。

从2.2处分析可知，现有的结构特点中，叶轮盒顶尖头设计时比较小，这是为了尽量减少叶轮与顶尖头的接触面，减少摩擦，提高叶轮的转动灵敏度。而现实情况是，顶尖头较小确实可以减少叶轮的接触面积，但同时会加大叶轮倾斜的趋势，也不利于顶尖头的耐磨性能。针对于这一点，可以设法加大顶尖头与叶轮底部玛瑙的接触面积，同时接触点尽量接近叶轮的重心或略高于重心点，尽可能地使顶尖头能够托住叶轮，尽量减少叶轮的倾斜趋势，避免顶尖轴与衬套间的径向摩擦。同时，由于顶尖头的增大，势必会加大顶尖头与叶轮玛瑙的摩擦力，为了减少摩擦，可以使顶尖头采用滚珠设计，类似于圆珠笔头的滚珠设计，随着叶轮的转动，顶尖头处的滚珠也随之转动，这样可以使摩擦力降到最低。如图4所示。

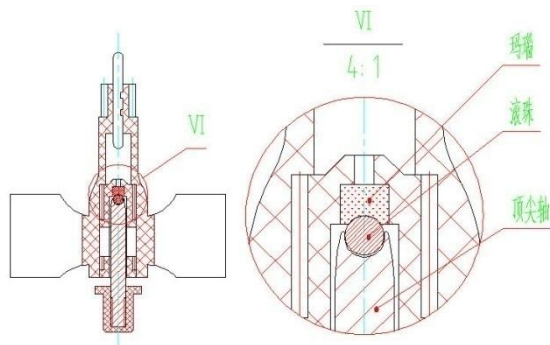


图4 轴系优化结构 1

图4中，顶尖头与叶轮的接触位置几乎与叶轮重心重合，且顶尖头与玛瑙的接触面积增大，叶轮的倾斜趋势大大降低。同时采用了滚珠设计，接触摩擦力也不会应为接触面积的增大而增大。由于尽量避免倾斜减少了顶尖轴与叶轮衬套间的径向摩擦，因此轴系的总的摩擦力会相应减少很多。

寻找叶轮的重心，将支撑点与叶轮重心相重合，是使叶轮能够平稳转动的关键所在。其实，国外早有这样的设计思想，美国表的叶轮盒顶尖就采取了类似的设计，如图5所示。



图5 (a) 美国表叶轮盒整体效果图



图5 (b) 美国表叶轮盒顶尖细节图

图中的叶轮盒顶尖采用的长顶尖，可以跟叶轮中重心相重合，同时顶尖头采用滚珠设计，降低叶轮的旋转摩擦。当拿美国表的叶轮在叶轮盒中旋转时，叶轮能在叶轮盒中持续平稳地旋转很长时间，而在公司的一套叶轮跟叶轮盒旋转时，只能持续1-2秒，主要是叶轮倾斜碰到叶轮盒壁所致，公司的叶轮旋转只有抓住叶轮轴即在装配完整的前提下才可以旋转一段时间。

3.2.1 突破传统思维的改进优化

正如上述所说，构成轴系的部件很多，相应地影响轴系稳定的因素也有很多，零件一致性制造要求高，检验的项目种类数目多，难度大，直接影响到水表批量生产的一致性和稳定性。同时，由于叶轮轴系存在着径向间隙和轴向的窜动间隙，在实流状态下，叶轮本身就不可避免地存在着摆动和窜动的现象存在，叶轮自身便处在相对不稳定的状态，而水表跟水表之间，这种不稳定的实际状态是不可能一致的，因此，这个也是同样的水表在各个水表之间存在着性能差异的原因之一。

为了使水表叶轮轴系运转状态尽量保持一致，我们需要打破传动的的设计思维，在现有的结构上加以突破。

传统的轴系结构中，叶轮是不固定的，如果我们把叶轮作固定旋转，则叶轮的不稳定状态可以大大改善，同时构成轴系的影响因素也会相应地减少。见图6

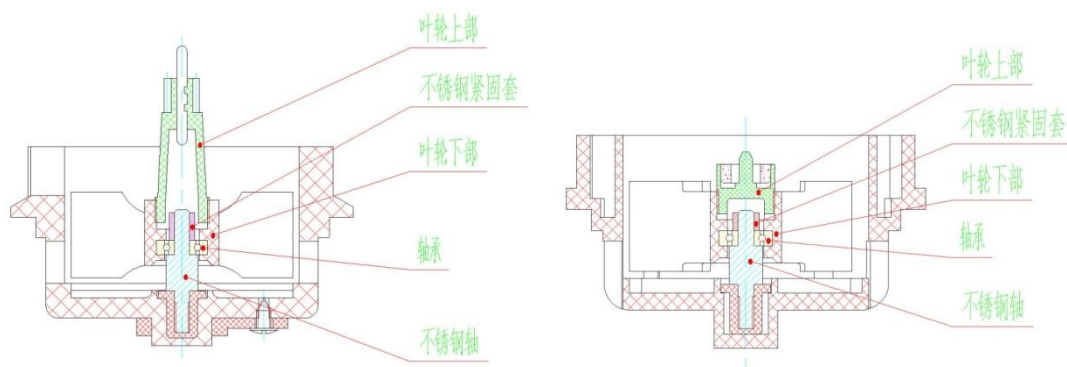


图 6 (a) 湿式多流水表轴系改进

图 6 (b) 干式多流水表轴系改进

如图所示,轴承注塑在叶轮下部中,与叶轮下部作为一个组件,而轴承套在不锈钢轴中,同时,紧固套通过过盈配合与不锈钢轴连接,将轴承固定在不锈钢轴上。这样,叶轮就固定到了不锈钢轴中。通过这种结构,避免了叶轮的摆动和窜动现象的产生,叶轮始终处于旋转状态,运行平稳状态较之前老结构有较大程度的提高。尤其是针对干式多流水表的结构设计,由于没有了窜动现象的产生,因此叶轮磁钢面与中心齿轮的磁钢面距离就可以是一个恒定值,不会因为叶轮的窜动而产生两磁钢面磁力发生变化,增强了叶轮运转的稳定性。

这样的结构模式对于构成轴系的影响因素尽量减少,容易对零部件的关键尺寸加以控制,对整体叶轮的运行状态也可以保证一定的一致性,对整表性能的把控可以加强。

诚然,这样的结构模式可能会使叶轮转动的灵敏性有所下降,但纵观上述分析,原来轴系的摩擦阻力大多来自顶尖接触的点摩擦和径向轴系的线摩擦,而改进结构的摩擦阻力主要来自轴承的多点旋转摩擦。我们可以寻找低阻力的不锈钢轴承或塑料轴承系列,加强与轴承厂方的沟通合作,加强实验选型,找到一款适合在水表上运用轴承产品。即使目前市面上没有特别合适的水表产品中运用微小轴承产品,我们可以立项与专业厂方合作,设计制造出一款摩擦阻力小,寿命长的专用轴承系列产品。这样,对于改进水表轴系的稳定性和可靠性有了深远的意义和影响。

4 结束语

提高水表的稳定性和一次性的生产合格率,以及提高水表的计量等级特性,对于每个水表制造厂来说,是一直努力不懈追求的目标和方向。通过对水表传动轴系结构的分析和优化改进,对于实现这一目标具有直接的促进作用。本文对于这一目标的实现,提供了必要的思考方式和具体的实施方案。如果能够运用本文的设计思想贯穿在日常的水表设计当中,加以试验验证和优化,相信对于稳定和提高水表的性能,具有积极的指导意义。