

PTA 装置中球阀的应用

杜大权

中金石化有限公司 浙江 宁波 315000

【摘要】：在大型 PTA(精对苯二甲酸)装置中，球阀作为工艺流程控制中的重要阀门，因其使用工况苛刻、制造成本高，因此在装置中一直扮演着重要角色。球阀的合理选用，是保证装置安全、稳定、长期运行的基础。本文介绍了 PTA 装置中 3 种常用的球阀结构和特点，并着重介绍了顶装球阀；对阀体、阀球、阀座、阀杆的材质选用做了说明；介绍了球阀在使用过程中的常见故障现象及解决方案。最后介绍了国内外球阀在 PTA 装置使用状况做了简要分析，希望为以后同类装置建设提供一些参考建议。

【关键词】：PTA；顶装球阀；结构；材质；故障和维护

DOI:10.12417/2705-0998.26.07.053

引言

上世纪 90 年代，全球聚酯产业生产重心逐步向亚洲转移，作为聚酯核心原料的 PTA，其生产布局也随之向亚洲转移。二十世纪初，随着我国民营企业进入该领域，PTA 产业在我国得到迅猛的发展，不仅将 PTA 的整体产能推高，而且使得单套装置的生产能力不断得到突破。装置产能的扩容，对阀门的使用要求也随之提高，提出了更为苛刻的要求。

在 PTA 生产过程中，核心工艺介质多以浆料形态存在，运行系统中含有醋酸、溴离子等腐蚀性组分；进入精制工段后，生产环境进一步升级为高温、高压状态。面对高温、高压、强腐蚀、易结晶、易堵塞的苛刻工况，球阀凭借其结构特点在 PTA 装置中得到了广泛的应用。顶装球阀凭借独特的结构设计，成为保障装置连续、稳定运行的关键核心设备。

1 PTA 装置工艺流程介绍

PTA 装置工艺流程主要包括氧化工段和加氢精制工段，具体如下：

(1) 氧化工段：以二甲苯(PX)为原料，醋酸为溶剂，钴、锰为催化剂，在高温高压条件下在氧化反应器中与空气(氧气)发生氧化反应，生成粗对苯二甲酸(CTA)。(2) 加氢精制工段：将粗对苯二甲酸以浆料的形态进入加氢反应器中，在高温高压条件下进行加氢反应，再经结晶、分离、干燥等步骤，得到高纯度的 PTA 产品。

2 PTA 装置常用球阀介绍

球阀作为生产装置的重要组成部分，与装置运行状况息息相关。在充分了解工艺特点的前提下，选用合适结构的阀门才能保证其达到理想的使用效果。

2.1 浮动球阀

结构形式：浮动式球阀通过介质压力将阀球压紧在阀门出口端的阀座上，使得阀球和阀座产生密封比压，从而实现密封(阀后密封)。产品特点：该类阀门结构简单、制造成本低、可批量化生产，工作性能稳定；软、硬密封都可选用，主要以软

密封为主，阀门规格和所承载的介质压力都较小，适用于低压、介质较为单一或含固量较低的场合；不足之处在于随着阀门规格增大，阀球自重和介质压力的叠加作用下，阀门运行扭矩增大、阀座密封面受挤压力效应显著，在运动过程中容易造成密封面划伤直至产生内漏。

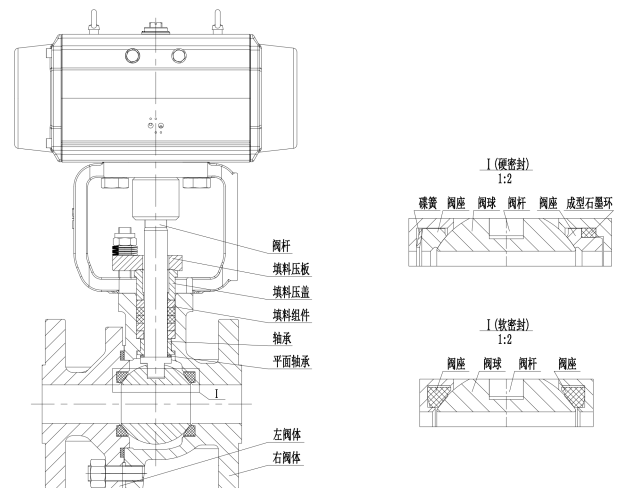


图 1 浮动球阀结构示意图

2.2 固定球阀

结构形式：固定式球阀通过介质压力将阀前阀座压紧在阀球上，并由阀座弹簧提供辅助推力，使得阀座和阀球产生密封比压，从而实现阀门密封(阀前密封)。产品特点：该类阀门结构多样化，制造成本稍高、可批量化生产；软、硬密封都可选用，因介质压力在阀球上所产生的力全部作用于轴承上，阀座不会承受较大的作用力，阀门运行扭矩较同规格的浮动球阀小，阀门密封性能稳定、可靠，适用于中、高压、高温环境中；不足之处在于阀门普遍规格较大、生产制造周期长、现场维护难度大。

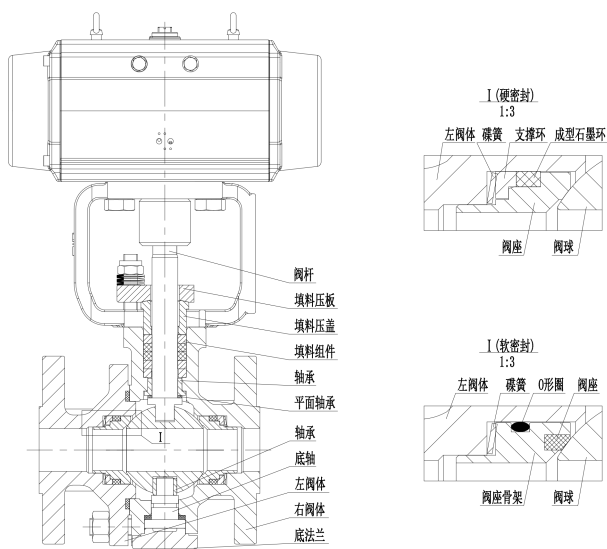


图2 固定球阀结构示意图

2.3 顶装球阀

结构形式：严格意义来讲，顶装球阀也可以划为固定球阀的一种。该类阀门针对 PTA 类似行业的特点，经过特别设计，克服了其它球阀的缺点。结构上与常规固定球阀不同的是，球阀、阀座等采用顶部安装的方式，阀座安装于阀体内腔表面上，使其沿斜面与球阀通过自重产生密封比压，从而实现阀门密封（阀前、阀后双向密封）。产品特点：该类阀门结构简单、制造工艺较长、可小批量生产；顶装式结构，阀体无须下线即可实现阀内件在线维护；阀体楔面密封面设计，能自动补偿阀座磨损间隙，阀门性能稳定；阀体结构流阻小，浆料和含固介质通过性好，中腔无积料区；阀座骨架镶嵌碳石墨等，摩擦系数低，有效降低阀门运行扭矩，该类阀门适用于中、高压工况下对浆料、易结晶物料控制的场合，尤其在氧化反应器空气进料、粗对苯二甲酸出料、精制工段结晶器出料等处普遍采用；不足之处在于阀门制造周期长、成本高。

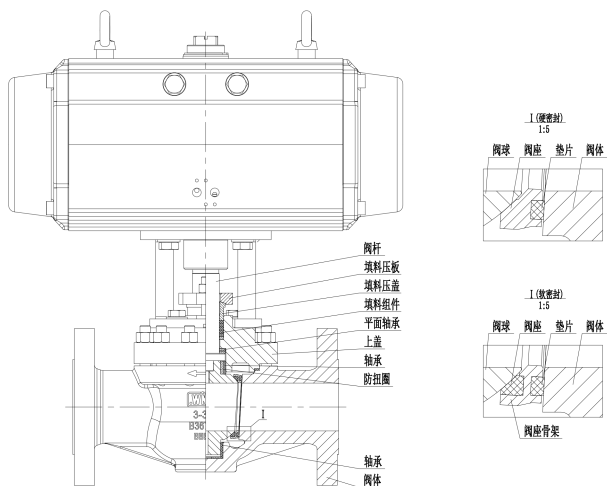


图3 顶装球阀结构示意图

3 PTA 装置球阀材质选用

PTA 装置中大量使用不同浓度的醋酸作为溶剂，含溴离子的溴化物为促进剂，对装置中的设备使用寿命和性能形成了较大的考验，材质需满足耐腐蚀性、耐高温高压、耐冲刷等要求。根据本人的使用经验，在阀门材质的选用上可遵循以下几个原则：

3.1 阀体材质的选用

阀体(含上盖)作为承压件，宜选用铸钢或锻钢形式，法兰式连接的阀门需与阀体一体加工成型，设计和制造应符合 ASME B16.34 或 GB/T 12224 等标准。阀体材质参考管道材质，不得低于配管材质等级；球阀、阀座、等金属阀内件至少高于阀体材质。因装置中多数工段含酸性物质，该类物质随温度的不同而呈现出的不同的腐蚀性，一般随温度的上升腐蚀性显著增强，材质的选用上也有一定的差别。因此 PTA 装置的阀门材质基本以 304L、316L 不锈钢为主，并且大量使用双相钢（或 317L）、钛合金。对于精制加氢反应器单元由于高温高压，并且冲刷严重，还需要选用哈氏合金材质。

3.2 球阀材质的选用

球阀作为控压元件，应由整块金属经机加工或锻制而成，球阀流道应为圆柱形孔设计，不得采用任何形式的分段制造工艺成型且不允许球阀内部中空、填充其他物质；球阀材质的耐腐蚀性能应等同于或优于阀体材质，不得低于阀体材质。

3.3 阀座(阀座骨架)材质的选用

阀座作为控压件，一般采用锻件加工成型，密封面通过硬化工艺后与球阀形成 5-10HRC 的硬度差，满足高温、高压、含固工况的使用；阀座材质的耐腐蚀性能应等同于或优于阀体材质，不得低于阀体材质，一般选用同球阀材质。当选用软密封球阀时，阀座骨架的设计要求同阀座。

3.4 其他注意点

球阀和阀座密封面要有一定的硬度差，避免开关过程中咬合、划伤等。对于 316L、304L 不锈钢材质，严禁使用镀铬、镀铬和金属喷涂工艺，因镀层易剥落并引发电化学腐蚀；可以使用适用的司太莱合金堆焊硬化处理。对于钛材，阀杆、球阀、阀座等需要硬化处理的，可以优先考虑选用硬度高的钛合金，如 F-5；也可以使用阳极氧化和物理气相沉积等表面硬化工艺。每家 PTA 装置工艺包专利商会根据各自工艺特点对部分材质提出更高的要求。如某专利商，对钛材的使用有更为严格的要求，其对 F-2、F-3 等材质的含氢量和含铁量作出了严格的限制；对不锈钢的中钼的含量也作出了严格的限制。

3.5 非金属材质的选用

非金属材质主要用于软密封球阀的阀座部位，根据阀门形式，它们具有不同的特性，满足 PTA 装置各种工况的使用要求。

聚四氟乙烯 (PTFE)，作为最普遍的密封材料，PTFE 具备耐受所有化学物质的特性，其摩擦系数低，能有效降低阀门运行扭矩。不足之处在于其耐受温度有限，高温下易变形，仅适用于 PTA 装置中温度较低、不含固流体的输送环节。增强聚四氟乙烯 (RPTFE)，通过在 PTFE 基体中添加玻璃纤维、碳纤维等方式，RPTFE 的硬度与耐热性得到显著提升，同时保留了 PTFE 的耐腐蚀性与低摩擦系数特性。使得阀门使用温度有所提高，同时兼顾了阀门的经济性。聚醚醚酮 (PEEK)，PEEK 为一种高性能工程材料，极限工作温度可达 300℃，抗拉强度超过 100MPa，具有出色的抗蠕变与耐磨性能。在 PTA 装置的高温、高压、浆料输送等苛刻场景中，PEEK 阀座可同时满足耐热、耐压与抗冲刷的使用要求。碳石墨阀座，该材质具备耐高温、耐腐蚀、极低的摩擦系数、自润滑的特性。在 PTA 装置中的部分位置 (例如氧化反应器的空气进料管线) 由于温度高、腐蚀性强，需要使用钛材顶装球阀。如果使用钛材金属阀座，就需要考虑阀球的硬度差问题，而且在使用过程中由于阀球与阀座的磨损或损坏都会造成极高的维修成本和维修周期。而碳石墨阀座则很好的解决了上述问题。但对碳石墨阀座的组分有极其严格要求，现在经过验证的有日本和美国的各一个品牌。并且对阀座的加工技术要求很高、制造难度大。

PTA 装置因介质中含溴化物、高温醋酸等强腐蚀组分，且工况复杂，阀门材质的选用，需结合介质成分、温度范围及专利商规范。只有系统分析腐蚀机理与工艺边界条件，才能规避材料失效风险，实现安全性与经济性的平衡。

4 球阀常见故障与维护

4.1 阀门内漏

主要原因：阀球和阀座密封面划伤、非金属阀座密封比压过大变形、阀座径向密封件受损等所致。解决措施：阀门解体，检查阀球和阀座密封面、阀座径向密封件等，如有损伤则视受损程度对阀球和阀座进行修复或新制，然后进行配对研磨、重新调整阀球和阀座的密封比压，确保阀门低压气、高压水测试满足泄漏标准 (API 598 或 GB/T 26480 等)。

4.2 阀门卡阻

主要原因：阀门传动部件积料或结晶、阀门内腔积料或结

晶、阀座背面弹簧腔室积料、阀球和阀座拉伤。解决措施：阀门解体，检查阀门各零件是否有划伤、拉伤、积料的情况，如有则清理积料或结晶物料后对零件外观进行目视检测，如有形变、划痕等现象视受损情况对零件进行修复或新制，待阀门回装后通过扭矩扳手校准阀门空载扭矩，确保阀门满足设计扭矩值。

5 国内 PTA 装置球阀现状

在 PTA 装置引进初期，由于国外企业在 PTA 装置中使用了大量的球阀，使其积累了丰富的设计、制造和使用经验，绝大部分球阀依赖进口，尤其是顶装球阀和钛材球阀，主要以意大利、德国或美国品牌为主。

近年来，随着我国装备制造业整体水平的突飞猛进，国内阀门企业的技术水平、制造水平、测试能力实现了全面突破。更有国内阀门的头部企业，经过二十多年的深耕，已经全面赶超国外企业，实现了真正意义上的“以国代进”。尤其在钛材球阀和顶装球阀的设计、制造、使用上已经取得了长足的进步和突破。

但我们仍要看到，国内企业仍存在不足：受制于国产材料技术水平的整体局限，部分密封材料仍需进口，比如加工阀座用的碳石墨、苛刻工况下的密封件，阀门的国产化率还有待提高。国外企业在产品制造过程中的严谨性、一致性好，而国内企业相比较还有很大的提升空间。国外企业产品追溯性强，可实现全生命周期数据管理。

6 结语

球阀作为 PTA 装置中一种关键的控制阀，直接关系到 PTA 装置的控制和安全。以上介绍了球阀在 PTA 装置中选型、使用的注意事项。各种结构的球阀没有绝对的好坏，只有适用和不适用。材质和结构形式的选择不当，阀门将无法达到预期的使用效果，甚至引起装置停车，生产和检修成本将会增加，甚至发生安全事故，造成经济损失、人员伤亡、环境污染等。做好选型，使其在生命周期内可靠运行，为 PTA 装置长、稳、优运行提供有效保障。

参考文献：

- [1] 张志彬,李程,刘海东.在用管道球阀的工作原理及常见故障分析[J].石油和化工设备,2017,20(01):53-54.
- [2] 徐士信.自控工程设计中的常用材料[J].石油化工自动化,2006,(01):12-15.
- [3] 项飞.控制阀在 PTA (精对苯二甲酸) 装置中的应用[J].国际控制阀,2010,(12):60-63.
- [4] 王学朋.调节阀材料的选择[J].阀门,2006,(06):38-40.
- [5] 余存焯.醋酸的腐蚀及其结构材料选用探讨[J].化工设备与管道,2008,45(06):53-58.