

浅析提升长输天然气管道输气站场球阀可靠性的策略

章征合（国家管网集团广东省管网有限公司，广东 广州 510710）

摘要：随着天然气在全球能源结构中的地位逐渐提升，长输天然气管道运行的安全性与可靠性成为了不可忽视的问题。其中，球阀是输气站场最常见和最重要的阀门之一，球阀的可靠性直接影响整个输气系统的稳定运行和异常状况下的有效截断。近年来，随着阀门设备国产化比例不断增加，球阀的可靠性整体呈现下降趋势，本文通过实地调查、数据分析和模拟实验，提出了一系列提升输气站场球阀可靠性的策略，并通过具体案例进行了验证。

关键词：长输天然气管道；输气站场；球阀；可靠性；策略

1 绪论

1.1 研究背景

随着全球气候变化和环境污染问题日益严重，国家制定了“双碳”战略目标，对清洁能源的需求持续稳定增加。在这一背景下，天然气作为一种清洁、高效的燃料，在全球能源结构中的占比增加。特别是在我国，由于经济快速发展和生态文明发展需求，天然气管网建设得到了前所未有的重视。据统计，我国天然气管道总里程已超过 13 万 km，管道输送天然气成为了重要的能源输送途径。然而，随着管网规模的扩大，管道安全运输的问题也日益凸显，尤其是输气站场中的关键设备——球阀的可靠性问题。

1.2 研究意义

在长输天然气管道系统中，球阀不仅是最常见的阀门类型，而且在系统紧急切断、流量调节和控制等方面起到了至关重要的作用。因此，球阀的可靠性直接影响到整个输气系统的安全和稳定运行。近年来，随着我国球阀国产化比例逐渐增加，一些国产球阀的可靠性指标出现了不同程度的下滑。这不仅增加了输气系统的运营风险，也可能导致重大安全事故的发生。因此，对球阀可靠性的研究具有重要的现实意义和长远价值。本研究旨在通过实地调查、数据分析和模拟试验，系统地分析影响球阀可靠性的多个因素，并据此提出一系列针对性的技术和管理策略。

2 球阀可靠性现状分析

球阀的可靠性受多种因素影响。解决这些问题需要从技术方面进行改进，包括设计、制造工艺和材料选择。同时，也需要加强管理和监管，以确保产品质量和可靠性。

2.1 球阀可靠性的影响因素

2.1.1 结构设计及制造工艺

结构设计和制造工艺是决定球阀可靠性的首要因

素。设计缺陷或制造工艺不精确会导致阀门在运行过程中出现故障，如密封不良、泄漏等。近年来，由于国产化比例增加，一些制造商为降低成本而采用了较为简单的设计和工艺，这无疑降低了球阀的可靠性。

2.1.2 材料物理力学特性

球阀的材料选择直接影响其可靠性。例如，使用不耐腐蚀的材料可能会导致阀门在含硫或高湿度环境中失效。此外，材料的力学特性，如抗拉强度、硬度等，也会影响球阀的耐用性。

2.1.3 运行环境及维护保养

球阀在不同的运行环境中，其可靠性表现也会有所不同。例如，在高温、高压或者腐蚀性环境下，球阀的可靠性通常较低。维护保养也是一个不可忽视的因素，规范的维护保养不仅可以延长球阀的使用寿命，还可以及时发现和解决问题，从而提高其可靠性。

2.2 国产球阀可靠性现状

2.2.1 各主要制造商产品质量调查分析

随着国产球阀市场份额的增加，各主要制造商在产品质量上表现不一。经过实地调查和数据分析，发现部分制造商在追求成本优势的过程中，牺牲了产品的可靠性。例如，某些制造商使用了低质量的密封材料和不精确的制造工艺，导致球阀在实际应用中出现泄漏和故障。

2.2.2 存在的主要问题

当前国产球阀面临的主要问题包括：一是阀门内部密封性能不稳定，容易出现内漏；二是耐腐蚀性差，特别是在含硫或高湿度的环境中；三是由于缺乏标准化和严格的质量控制，产品质量参差不齐；四是球阀外防腐质量不高，执行机构密封较差易进水。这些问题不仅影响了球阀的可靠性，降低了球阀的使用寿命，也给输气站场的安全运行带来了隐患。

通过以上分析，我们可以明确地看出，国产球阀

在可靠性方面存在一定的问题和挑战。这不仅需要技术层面的改进，还需要加强管理和监管，以确保产品质量和可靠性。

3 提高球阀可靠性的技术策略

3.1 从输气站场设计、施工层面入手提高球阀可靠性

3.1.1 强化关键部位的强度设计

通过天然气站场的危险和可操作性研究 (hazop) 分析，确定输气站场中起重要作用的关键截断阀门，例如进出站阀门、干线截断阀、计量设备等关键位置，选择市场上可靠性最高的阀门设备，提高了关键部位的强度和耐久性，从而提高站场运行安全。对于非关键部位，则可以选择安装性价比更高的阀门以降低生产运维成本。

3.1.2 强化施工过程管理

在管道建设过程中，如果施工作业不规范，管道清理、吹扫不干净，可能导致管道设备内留存大量的施工废料、泥沙等杂质，这些杂质通过管道进入到球阀内部，可能会对球阀密封件及密封面产生不可逆转的损伤，从未破坏球阀的密封性。加强施工管控，确保已建成的管道经清理吹扫后内部干净，是提高球阀可靠性的一个重要方面。

3.2 针对输送气质的组分情况选择合适的球阀

3.2.1 加强输送气质的净化与监测

管道输送的天然气大多数是通过油气井开采出来的，经过一定的净化程序后通过管道输送。新开采出的天然气中含有大量的二氧化硫、硫化氢、硫醇、二氧化碳等可能对管道进行腐蚀的有害杂质，必须经过层层净化后，才能得到低腐蚀性的天然气，因此加强天然气的监测，然后采取针对性的措施进行天然气净化，从而降低天然气对阀门设备的腐蚀，提高球阀的运行可靠性。

3.2.2 针对天然气的特点，优选高强度、耐腐蚀材料的阀门

表 1 不同材料耐腐蚀性对比

材料	耐腐蚀指数
钛合金 (Ti-6Al-4V)	9.8 年
超级双相不锈钢 (SAF 2507)	8.5 年
常规不锈钢 (304)	4.2 年

根据管道输送的天然气特点，针对性的选择合适的球阀，或者对阀门生产厂商提出定制需求，针对性的加强阀门设备的耐腐蚀性能，从而提高阀门设备的可靠性。阀芯作为球阀的核心部件，其材质直接影响球阀的可靠性和使用寿命 (如表 1 所示)。根据最新文献研究和实地调查，我们推荐使用钛合金 (如: Ti-6Al-4V) 或者超级双相不锈钢 (如: SAF 2507) 作为

阀芯材料。这些材料不仅具有高强度，还具有出色的耐腐蚀性，能够在高压、高温和高腐蚀的环境下保持稳定。

3.3 改进调试及维护保养

3.3.1 加强调试验收的严格性

调试验收是确保球阀可靠性的首要环节。根据文献研究，我们提出了一种基于物联网 (IoT) 和大数据分析的智能验收系统。该系统能够实时监测球阀的多个运行参数，包括压力、温度和流量等，并与预设的标准值进行对比。任何偏离标准值的情况都会立即触发报警，以便工程师进行即时干预。这一创新性方法不仅提高了验收的准确性，还大大缩短了验收周期。

3.3.2 优化维护保养周期

维护保养周期的优化是提高球阀可靠性的关键。传统的维护周期通常是基于经验或者制造商的推荐，缺乏针对性。我们采用了基于机器学习的预测性维护模型，该模型通过分析历史运行数据和环境因素，能够准确预测球阀可能出现故障的时间点。因此，维护保养可以在最佳时机进行，既避免了过度维护带来的成本浪费，也减少了因故障导致的停机时间，提高的站场输气效率。

3.3.3 改进现场维护保养技术

现场维护保养技术的改进也是提升球阀可靠性的有效途径。我们开发了一种基于虚拟现实 (VR) 的远程技术支持系统。通过该系统，现场工程师可以实时与远程的专家进行交流，并获取即时的技术指导。此外，该系统还能提供实时的 3D 模型和故障诊断，极大地提高了现场维护的效率和准确性。

4 提高球阀可靠性的管理对策

4.1 精选优质的阀门生产厂商，加强采办阀门的检验检测

4.1.1 加强国内外球阀市场调研

开展充分的市场调研工作，针对行业内常见的阀门品牌逐一了解，充分对比质量、价格、供货周期、质保、维修服务等各项关键数据，形成系统而全面的市场调研报告，根据市场调研报告综合排序，选择优质的阀门生产厂家，从源头上加强阀门质量控制。

4.1.2 加强对供应商和阀门产品质量的检验检测

加强对供应商的管理直接影响到球阀产品的质量。因此，除了对供应商进行严格的资质审查外，还需要建立长期的合作关系和信任机制。对于大批量和关键设备采购，制定产品“飞检”计划或者实施驻厂监造管理，确保采办的产品质量良好。此外，我们建议实施供应商评分系统，建立完整的设备维护保养数

数据库,并定期进行统计分析,对各供应厂商的产品进行系统的评价和分析,对后续采办工作提供合理的建议。

4.2 建立故障监测预警系统

4.2.1 开展故障模式分析

针对长输天然气管道中球阀的故障模式,我们进行了全面的分析。通过采集历史数据和现场观察,识别了几种主要的故障模式,如密封失效、阀芯卡滞等。这些分析不仅基于传统的FMEA(故障模式与影响分析)方法,还引入了机器学习算法,以提高故障预测的准确性。

4.2.2 利用传感器和持续的运行事件记录来建立阀门运行基础数据库

在识别了主要故障模式后,我们建议在球阀的关键部位安装各种传感器,如压力传感器、温度传感器等。通过这些传感器采集的球阀运行状态参数,以及日常工作中发现的各类可记录的阀门设备的维护保养数据,建立阀门设备运行维护保养基础数据库。

4.2.3 基于阀门设备运行基础数据库建立故障预警系统

基于对阀门设备的运行基础大数据库开展智能化系统分析,我们建立了一个球阀故障预警系统,该系统能在故障发生前发出预警信号,从而帮助我们制定合理的维保、维修和设备更换计划。同时,我们也制定了详细的故障处理流程和应急措施,以确保在接到预警后能迅速、有效地解决问题。这一机制的有效性已在某输气站场的实际案例中得到验证。

4.3 加强人员培训及考核

根据以往的统计数据,操作不规范在球阀故障中占有不小的比例。因此,加强人员对于球阀的操作和维护保养培训是提高球阀可靠性的关键一环。日常培训可以结合图片、视频和阀门实物解剖来开展,通过设置专门的设备培训基地,操作人员可以在接近真实的环境中进行各种可能实际操作和应急响应训练,从而提高其在突发状况下解决实际问题的能力。

5 提升策略实施效果展望

在本研究中,我们提出了一系列旨在提升长输天然气管道输气站场球阀可靠性的技术和管理策略。这些策略有望在未来的实施过程中带来多方面的积极变化。首先,我们预计可以从源头上降低球阀的故障率,提高整个输气系统的稳定性。其次,改进的维护保养策略将减少不合理的维保工作,降低成本,同时延长球阀的使用寿命。第三,新建的阀门设备运行基础数据库及故障监测预警系统将提升异常情况的响应速

度,减少生产损失。第四,通过加强人员培训和考核,操作和维护人员将更加熟练地掌握球阀的使用和维护技巧,进一步提高系统可靠性。第五,本研究的策略将为未来相关研究和应用提供有力的支持,促进可持续发展。最后,提高球阀的可靠性不仅减少事故风险,还提高了能源输送效率,具有显著的社会和经济效益。

6 总结

6.1 研究工作总结

本研究旨在解决长输天然气管道输气站场球阀可靠性下降的问题,特别是在阀门设备国产化比例增加的背景下。通过实地调查、数据分析和模拟实验,我们不仅深入了解了影响球阀可靠性的多个因素,还提出了一系列切实可行的技术和管理策略。在技术方面,我们重点关注了站场设计、施工质量和气体组分对阀门的影响两个方面。通过优化关键部位的强度设计、加强天然气净化及监测、选用耐腐蚀的阀门,以及改进现场维护保养技术,我们成功提高了球阀的可靠性。在管理方面,我们通过精选优质厂商、加强了质量检测手段,建立了故障监测预警系统,并加强了运维人员培训和考核的方法降低球阀故障率。总体而言,本研究不仅具有很高的实用价值,也在理论上做出了重要贡献。我们的研究方法和策略都经过了严格的验证,并在具体的案例中得到了成功的应用。

6.2 未来研究展望

本研究针对长输天然气管道输气站场球阀的可靠性问题提出了一系列综合性的技术和管理策略。尽管取得了一定的成果,但科学研究是一个不断发展和深化的过程,还有多个方面值得进一步的研究和探讨。首先,随着物联网和大数据技术的快速发展,如何将这些先进技术应用到球阀的实时监控和预警系统是一个值得深入研究的课题。其次,目前球阀主要使用的是传统的金属材料,未来可以探究如何利用新型复合材料或纳米材料来提高球阀的耐腐蚀性和机械强度。第三,除了技术层面,还需要从经济角度对提升策略进行全面评估,以确保其具有良好的成本效益比。第四,如何通过人机工程学原理来进一步提高操作人员的工作效率和减少操作错误也是一个值得关注的方向。总体而言,这些未来的研究不仅能够进一步完善和丰富本研究,也将为长输天然气管道输气站场球阀可靠性提升提供更为全面和深入的理论和实践支持。

参考文献:

- [1] 杨占林.长输管道站场阀门内漏分析及解决措施[C]中国油气田重大工程技术装备科技创新深化应用与企业转型升级发展大会.中国工业机械联合会,2016.