

球阀设计与有限元分析

陈百乐 谈桂园

(浙江摩恩达阀门有限公司 浙江 丽水 323000)

摘要: 本文深入探讨了球阀的设计及有限元分析方法。首先,对球阀的材料参数进行了详细的研究,包括材料的物理性质、化学成分、强度等。接着,对作用于球体的载荷进行了研究,包括介质直接作用于球体的压力 P_1 和阀座密封圈作用于球体的压力 P_2 ,并根据实际工况和设计要求,确定了 P_1 的值,并通过公式计算得到了 P_2 。此外,对球体变形和阀体强度进行了计算,以确保球阀在承受载荷时的稳定性和可靠性。最后,进行了球体与阀体的优化设计,以提高球阀的性能和质量,从而提高工业管线系统的稳定性与可信度。通过优化设计,可以减小球体的应力和变形,增强阀门的密封功能,并且延长球阀的使用年限。本文对于球阀的设计和分析具有一定的指导意义。

关键词: 球阀设计;有限元分析;材料参数

0 引言

球阀在众多工业领域,例如化学、石油、电子、核能等^[1],都有着广泛的使用,被视为一种重要的管理装置。其主要作用在于调节管路内的液体流动方向,以确保整个管路系统的稳定性与可靠性。鉴于球阀在工业管路系统中的关键作用及普遍使用,它的品质直接决定着管路系统的稳定性和耐久度。所以,研究球阀的构造及有限元分析技术,对于提高球阀的品质,以及确保工业管路系统的稳定性及耐久度起着至关重要的作用。本文以NPS16-2500Lb的高压球阀为例,对其设计方面给出了一些建议。

1 材料参数及载荷计算

1.1 材料参数

表1展示了球阀的阀体和球体的材料力学性能参数。

表1 零部件材料力学性能参数

名称	材料	屈服强度 /MPa	抗拉强度 /MPa	许用应力 S_m /MPa	泊松比
阀体	A350 LF2	250	485	166.7	0.3
球体	AISI 4140	515	655	252	0.3

阀体的材料是A350 LF2,具有优秀的耐寒性以及对接痕的灵敏度,这对于保证阀门在多样化的工况中的可靠性起着关键的作用。球体的材料是AISI

4140,是一种具有优良机械性能的钢材料。它的屈服强度和抗拉强度分别达到了515MPa和655MPa,具有很高的韧性。许用应力是在给定的操作条件下材料能够承受的最大应力,阀体和球体的许用应力分别为166.7MPa和252MPa^[2]。

1.2 载荷计算

在制造球阀时,必须考虑多种负载的影响,尤其是对球体产生直接影响的两种负载:介质直接施加给球体的压力 P_1 和阀座密封圈施加给球体的压力 P_2 。这些载荷的作用会导致球体产生各种应力与变形,因此准确的载荷计算对于确保球阀的稳定性和可靠性至关重要。

首先,必须考虑介质对球体施加的压力 P_1 。当球阀保持正常工作时,球阀的阀门会保持平衡状态,因此可以推断出,介质对阀座和球体表面施加的压力 P_1 是42MPa。这个压力值是根据实际工况和设计要求确定的,它直接反映了介质对球体的作用^[3]。

接下来,依照设计图纸以及相应的数学模型,对阀门密封环施加在球形上的压力 P_2 进行测量。根据公式 $P_2 \times \cos \theta \times S_3 = P_1 \times S_1 - P_1 \times \cos \theta \times S_2$,可以得到阀座密封圈作用于球体的压力 P_2 。其中, S_1 表示介质作用于阀座的接触面积,压力 P_1 会把阀座推向球体,从而产生密封作用; S_2 代表阀门密封环和球体接触面的横截面积; S_3 表示阀座与介质的接触面积,压力 P_2 会把阀座推向远离球体的方向,从而减少密封作用; θ

表示阀门的密封表面和球心之间的夹角,取 $\theta = 55^\circ$ 。

通过代入相关数值,得出阀座密封圈对球体施加的压力 P_2 是 258MPa。这个计算结果对于球阀的设计至关重要,因为它直接影响了球体的稳定性和可靠性。过大的压力会导致球体产生过大的应力,从而影响其持久性和可靠性;过小的压力则可能导致密封效果不佳,对整个管道系统的稳定性和可靠性产生影响。因此,精确计算载荷并对其进行评估是高压球阀设计的关键步骤之一。

综上所述,载荷计算是高压球阀设计中的重要环节。通过精确计算作用于球体的介质压力和阀座密封圈压力,可以确保球体的稳定性和可靠性,从而确保整个管道系统的稳定性和可靠性。此外,这些计算结果还可以为后续的优化设计和系列化设计提供重要的参考。

2 球体变形计算

使用 ANSYS 有限元分析工具,对球体进行了深入的研究和计算,得到了球体变形的云图,如图 1 所示。

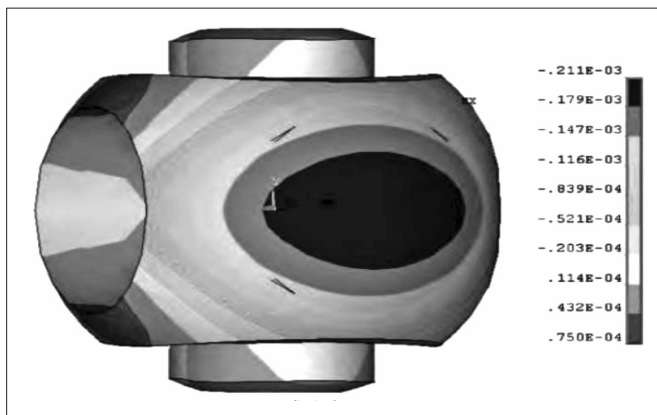


图 1 球体变形云图

该云图显示了球体在不同设计压力下的变形情况,为设计者提供了参考依据。

根据以上计算参数,对球体变形进行了精确计算,具体计算结果如表 2 所示。

表 2 球体变形计算结果

球体直径 $S\phi$ /mm	设计压力 /MPa	最大变形 /mm	最小变形 /mm	变形差 /mm
694	42	-0.166	-0.119	-0.047

从表 2 中可以看到,当球体直径为 $S\phi$ 694mm 时,球体变形的最大值为 -0.166mm,最小值为 -0.119mm,

变形差为 -0.047mm。与推荐的 -0.05mm 的球体变形控制量相比,球体变形量略小,说明该球体在变形方面是相对较为优秀的。

通过计算结果,可以更好地评估球体的性能和质量,确保其在使用过程中具有足够的稳定性和可靠性^[4]。同时,也为后续的优化设计提供了参考,可以通过对球体变形的分析,进一步优化球体的结构设计和材料选择,提高其整体性能和可靠性。

3 阀体强度的计算与校核

阀体强度的关键在于安装阀杆的开孔,此处的洞口可能导致局部应力集中,从而显著降低阀门的强度。为了减少三维有限元分析的节点数,仅对带有洞口的半阀门进行了计算。

Von mises 应力的分布情况可以从图 2 中看出,特别是在阀门的开口部位,应力集中情况较为严重。

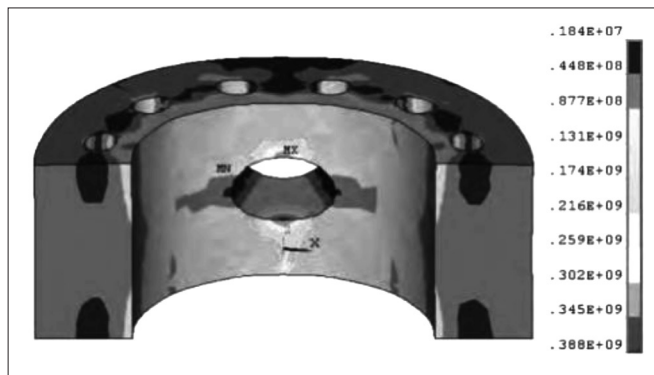


图 2 阀体应力计算结果

依据先前的阀体强度计算报告,对阀体的开孔强度进行了计算和校验。将弹性应力场划分为一次、二次和峰值三种不同的应力,并采用 ASME VIII -2 的应力极限判定标准来评估阀体强度是否安全。

根据 ASME VIII -2,在阀门的开口区域进行了强度检查,具体数据见表 3。

在工业管道系统里,阀体扮演着关键的控制角色,它的设计品质和功能对整个系统的安全性和稳定性有着直接的影响。在阀体的设计过程中,强度检测是一个重要的步骤。通过进行强度检测,可以保证阀体在工作压力的作用下不会被损坏或者发生过大的变形,这样就能够确保阀体的稳定性和可靠性。

本文主要探讨了球阀的设计与有限元分析。通过对材料参数、载荷计算、球体变形计算、阀体强度计

表3 阀体开孔部位应力强度校核

应力分解	路径	应力强度校核
一次局部薄膜应力+一次弯曲应力	$P_L+P_b \leq 1.5S_m$	233.4MPa < 250MPa
一次局部薄膜应力+一次弯曲应力+二次弯曲应力	$P_L+P_b+Q \leq 3S_m$	332MPa < 500MPa

算以及球体与阀体优化设计等的详细讨论,展示了如何进行阀体的强度校核和设计优化。

首先,需要确定阀体的材料。在选择阀体材料时,需要考虑材料的物理性质、化学成分、强度等。根据实际工况和设计要求,选择具有良好机械性能和耐腐蚀性能的合金钢作为阀体的主要材料。

接着,需要对作用于球体的载荷进行计算。在球阀中,球体是主要的控制元件,其受到的载荷包括介质直接作用于球体的压力 P_1 和阀座密封圈作用于球体的压力 P_2 。根据实际工况和设计要求,确定了 P_1 的值,并通过公式计算得到了 P_2 。

然后,进行了球体变形和阀体强度的计算。在球体变形计算中,采用了有限元分析方法,通过对球体进行离散化和受力分析,得到了球体的变形量。在阀体强度计算中,采用了应力强度限制条件,通过计算阀体的最大应力强度,并与材料的极限应力强度进行比较,判断阀体是否满足设计要求^[5]。

在进行强度校核时,采用了强度校核准则,即 $P_L+P_b \leq 1.5S_m$ 。其中, P_L 为最大工作应力, P_b 为附加应力, S_m 为材料的极限应力强度。通过计算和分析,发现阀体的最大应力强度为233.4MPa,小于材料的极限应力强度250MPa,满足强度校核准则的要求。

为了保障安全,需要对阀门的结构进行改动。在后续的设计过程中,适当减小球体的大小,从而降低阀门的内部通道直径,会导致整个阀门的壁厚增加,因此能够提升阀门的抗压能力。在调整球体尺寸的同时,也需要考虑其他设计因素,如阀体的流动能力、开启压力、关闭压力等。只有在所有因素都得到满足的情况下,才能得到一个安全、有效的阀体设计。

此外,对于阀体强度的进一步研究,可以采取更先进的方法和工具,如有限元分析、计算机模拟等。这些方法和工具可以更准确地预测阀体的应力分布,从而进行更有效的设计优化。同时,也可以通过试验验证设计的有效性,确保阀体在实际运行中能达到预

期性能。

在考虑阀体强度的同时,也需要关注阀体的其他性能,如耐腐蚀性、耐磨性、抗疲劳性等。这些性能对于阀体的整体性能和使用寿命同样重要。因此,在进行阀体设计时,需要综合考虑各种因素,以达到最佳的设计效果。

总之,阀体强度的计算与校核是阀体设计的重要环节。通过精确的计算和有效的校核,可以得到一个安全、可靠的阀体设计^[6]。同时,通过进一步的研究和优化,可以不断提升阀体的性能和使用寿命,使其满足各种复杂的应用需求。

4 球体与阀体优化设计

4.1 球体优化设计计算

当球体直径为 $S\phi 694\text{mm}$ 时,球体的变形差为 -0.047mm 。将球体直径减小至 $S\phi 689\text{mm}$ 时,球体的变形差为 -0.053mm 。通过综合对比这两个数据,可以确定将球体直径减小至 $S\phi 689\text{mm}$ 的方案更为优越。它能为阀体内径的减小提供一定的空间,同时保证变形量增加较小且降低了材料成本。图3展示了优化后的球体变形情况,具体变形量数据见表4。

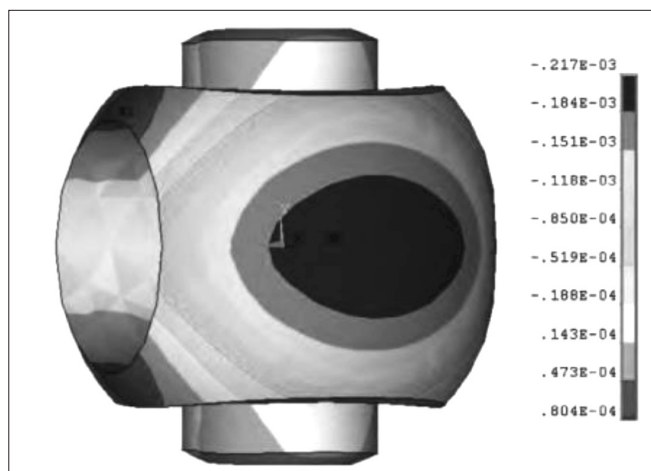


图3 优化后的球体变形情况

4.2 阀体优化设计计算

为了验证阀体厚度的增加是否能够提高阀体强度,对各种阀体厚度的阀体强度进行了测算。计算结果表明,当阀体外径增大到1320mm,内径减小为694mm时,阀体强度得到了显著提高,优化后阀体强度计算结果如图4所示。随着阀体厚度的增加,阀

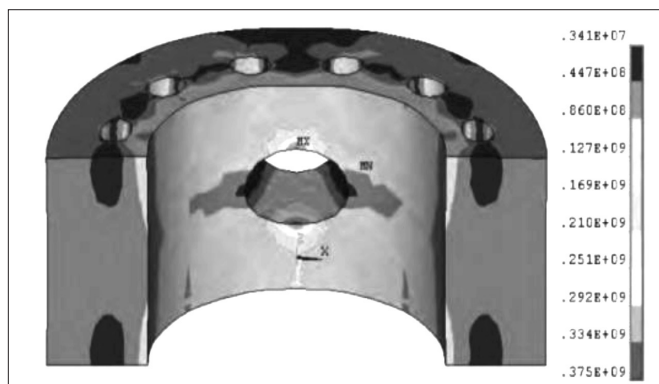


图4 优化后阀体强度计算结果

表4 球体变形计算结果

球体直径 $S\phi/mm$	设计压力 /MPa	变形量 /mm	最大 变形	最小 变形	变形差
694	42	-0.166	-0.166	-0.119	-0.047
691	42	-0.171	-0.171	-0.121	-0.050
689	42	-0.173	-0.173	-0.12	-0.053

体强度逐渐增加,当阀体厚度达到313mm时,阀体强度达到了最优值。因此,建议将阀体外径增加到1320mm,以提高阀体的安全系数。

表5 阀体强度计算结果

阀体尺寸 / mm		一次局部薄膜应力 + 一次弯曲应力 $P_L + P_b \leq 1.5S_m$	一次局部薄膜应力 + 一次弯曲应力 + 二次弯曲应力 $P_L + P_b + Q \leq 3S_m$
外径	内径		
1300	694	233.4MPa < 250MPa	332.0MPa < 500MPa
1305	694	231.0MPa < 250MPa	337.9MPa < 500MPa
1310	694	227.5MPa < 250MPa	326.0MPa < 500MPa
1320	694	207.8MPa < 250MPa	310.7MPa < 500MPa

根据表5的数据,可得出随着阀体厚度的增加,阀体强度逐渐提高。同时考虑到设计安全系数,将阀体外径增加到1320mm,即厚度增加到313mm时,安全系数进一步提高,超过标准要求的1.6。

根据表4的球体变形计算结果可以看到,当球体直径从694mm减小到689mm时,虽然使球体变形量相对增大一点(两变形量相差极小),但可节省材料成本。同时,根据表5的阀体强度计算结果,建议将阀体外径增加到1320mm,内径仍为694mm。这使得阀体厚度从303mm增加到313mm,提高了阀体强度。此时,阀体开孔部位的一次局部薄膜应力 + 一次弯曲应力为207.8MPa,此方案符合规定的压力强度检验标准,同时也拥有较大的安全

余量。

此外,当壁厚增加到一定程度后,阀体强度的增长趋势开始变得平缓。这表明在提高阀体强度方面,增加壁厚的效果已经开始减弱。因此,考虑到设计的安全系数以及材料的成本等多种因素,建议将阀体厚度设置为313mm。

综上所述,通过增大阀体壁厚,可以有效地提高阀体强度,并提高设计安全系数。这样可以使阀门在极端工况下仍能保持良好的性能,从而确保整个管道系统的稳定运行。

5 结语

本文以NPS 16-2500Lb 高压球阀为例,对阀体和球体进行了变形及强度计算,采用ANSYS有限元数值仿真分析,进一步提出了优化设计方案,并对结果进行了分析对比,确定了最终的结构尺寸。该方法有效地提高了设计效率和准确性,为后续高压球阀的系列化设计提供了重要的参考。

本文还进一步揭示了高压球阀设计中需要考虑的关键因素,包括但不限于应力强度、结构尺寸、材料选择等。这些因素对于高压球阀的稳定性和可靠性具有重大的影响。因此,在设计高压球阀时,必须对这些因素进行深入研究和细致考虑。

同时,本文所采用的有限元分析方法也为高压球阀的设计提供了新的视角。这种方法可以有效地模拟和预测高压球阀在不同工况下的变形和应力分布情况,从而为设计者提供更为准确和全面的设计依据。因此,未来可以在此基础上进一步探索有限元分析方法在高压球阀设计中的应用。

简而言之,本文的研究不只是提升了高压球阀的制造效能与精度,同时也对其一体化设计提供了借鉴与指导。同时,本文所采用的有限元分析方法也为高压球阀的设计提供了新的思路和方法。

参考文献:

- [1] 刘文博. 保压取心球阀设计与有限元分析 [J]. 科学技术创新, 2023(12):1-4.
- [2] 冯涛, 陈双河, 何亚峰, 等. 大口径全焊接热力球阀设计与有限元分析 [J]. 机械设计与制造工程, 2022, 51(6):47-50.
- [3] 何建孟. 球阀和闸阀结构强度的阀门设计与有限元分析

(下转第15页)

器件的功能特点、成熟度、规格、等级、质量和可靠性水平、使用环境要求及供货厂商等,按相关标准选购高可靠性元器件。

按照设备的功能定义及工作方式,各部分均为独立功能单元,由此定义设备的可靠性模型为串联模型。按照产线工位设备的布局,分析得到产线可靠性模型框图,如图3所示。

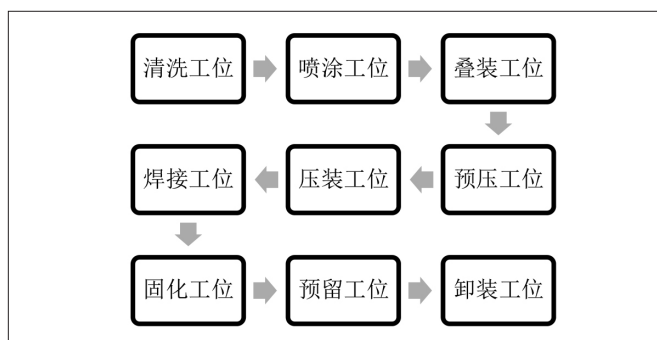


图3 可靠性模型框图

5.3 产线可靠性 MTBF 计算

上文建立的产线可靠性数学模型为串联结构,可以假设各个部件的失效率服从指数分布,则设备的可靠性预计结果是各部件失效率之和的倒数。其计算公式如下:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{ki} \quad (1)$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_p} \quad (2)$$

式中: λ_p — 设备的预计失效率;

λ_{ki} — 各部件的预计失效率;

$MTBF$ — 设备的可靠性预计值。

设备的可靠性预计是根据产线所有设备部件对维修的要求,对产线上每个工位的设备易损部件的失效率进行查询(从机械设计手册中查取参考值),并由公

式(1)求得自动化产线设备的预计失效率,按照公式(2)计算获得产线设备可靠性预计值,结果为1106h,满足 $\geq 1000h$ 的指标要求。

6 结语

电动机转子自动化装配产线的设计以提高电动机零部件装配效率为目标,通过分析比对行业内现有电动机转子零部件装配产线的布局,根据用户的产品特点、工艺技术要求及产品质量控制要求,对电动机转子的生产装配工序进行了设计,以适用于小型电动机的大批量自动化生产。本文结合电动机转子的自动化装配特点,以及未来智能化产线发展趋势对产线进行设计,其生产数据可由远程控制终端实时掌控,针对不同规格产品的不同装配工艺参数,可以在产线的控制系统中进行调整,满足产线对多元化产品装配的需求。本文设计的自动化装配产线以机械手代替工人操作,保证了产品的一致性,提高了生产效率。

参考文献:

- [1] 新课标生物实验室新增仪器与建设介绍——超声波清洗器[J]. 教学仪器与实验, 2010, 26(04):39.
- [2] 无锡德鑫太阳能电力有限公司. 一种清洗黑硅电池片的装置:CN201420815906.4[P]. 2015-05-06.
- [3] 陈揆能. 空调装配自动化生产线工艺研究及系统设计[D]. 广州:广东工业大学, 2015.
- [4] 刘栋. 连续退火实验机温度控制模型开发与应用[D]. 沈阳:东北大学, 2019.

作者简介:姚永鑫(1989.09-),男,汉族,甘肃庆阳人,本科,工程师,研究方向:智能机械结构。

(上接第10页)

[D]. 大连:大连理工大学, 2016.

[4] 谷帅坤,张宇航,付延河,等. 钛材球阀静力有限元分析[J]. 山西建筑, 2023, 49(3):78-82.

[5] 刘梦仙,李刚,李晓兰,等. 三位六通联动球阀的设计与应用[J]. 天津化工, 2023, 37(3):136-139.

[6] 刘合,温鹏云,宋微,等. “半浮动”取心保压球阀的设计研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2023, 50(2):173-180.

作者简介:陈百乐(1981.11-),男,汉族,浙江衢州人,本科,工程师,研究方向:阀门设计。