

油封弹簧规格的选择及适用性分析

李秀珍¹, 杨剑飞¹, 黄 乐^{2*}, 吴 俊², 赵敏敏²

(1. 中车株洲电力机车研究所有限公司, 湖南 株洲 412007; 2. 广州机械科学研究院有限公司, 广东 广州 510535)

摘要:介绍油封弹簧径向力(P)的一种计算方法, 并进行试验验证。选取8种常用规格(0.30×1.6, 0.36×2.0, 0.45×2.5, 0.50×3.0, 0.60×3.5, 0.80×4.0, 1.00×5.0和1.20×7.0)的油封弹簧, 在不同轴径(50~1 600 mm)和不同伸长率(<10%)下分别计算 P ; 依据 P 的推荐取值, 得出适合规格油封弹簧轴径的适用范围, 为油封弹簧的选型和设计提供参考。

关键词:油封弹簧; 规格; 弹簧径向力; 轴径

中图分类号: TQ336.4⁺²

文献标志码: A

文章编号: 1000-890X(2020)08-0611-04

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2020.08.0611



OSID开放科学标识码
(扫码与作者交流)

由于结构简单、安装方便、密封可靠、性价比高, 油封被广泛应用于各类机械设备^[1-7], 如风力发电设备中等。按有无金属弹簧, 油封可分为有簧油封和无簧油封。金属弹簧是有簧油封的重要组成部分之一, 其作用是将油封唇口箍紧在密封轴上, 起到增大弹簧径向力(P)的作用^[8-9]。 P 是指油封对轴的抱紧力, 油封单位径向力(P_{r1})是指油封对轴在单位周长上的抱紧力, 两者可以依据密封轴直径相互转化。 P_{r1} 过小, 油封密封性能不可靠, 容易发生泄漏; P_{r1} 过大, 会加速油封损坏, 缩短油封的使用寿命。在使用过程中, 由于旋转轴线速度不同, P_{r1} 的取值不同^[9]。

常见的油封弹簧有两种类型, 一种是由钢丝绕成的螺旋弹簧, 另一种是由弹簧钢片制成的片状弹簧, 在油封中使用最多的是螺旋弹簧。不同弹簧外径、钢丝直径和弹簧长度的螺旋弹簧对油封唇口所能提供 P 的适用范围不同, 需要依据 P 的需求, 选择合适的弹簧规格。

本工作计算了常用规格的油封螺旋弹簧(以下简称弹簧)在不同轴径(D_r)、不同伸长率(ε)下的 P , 然后依据 P 的推荐范围, 给出适合规格弹簧的

适用 D_r , 以为油封弹簧的选型和设计提供参考。

1 弹簧 P 的计算方法及试验验证

1.1 计算方法

油封弹簧一般具有初应力, 使得弹簧在微小的伸长量下就可以得到必要的箍紧力, 因此油封弹簧拉力(F)由两部分组成, 一是由初应力产生的弹簧初拉力(F_0), 二是由弹簧拉伸产生的拉伸力(F_1)。

F_0 的计算公式为

$$F_0 = \frac{\pi d^3 \tau_0'}{8KD} \quad (1)$$

式中: d 为弹簧钢丝直径, mm; τ_0' 为弹簧初应力(取值与弹簧旋绕比有关), MPa; K 为弹簧曲度因数; D 为弹簧中径, mm。

F_1 的计算公式为

$$F_1 = k\Delta L \quad (2)$$

$$k = \frac{Gd^4}{8N_c D^3} \quad (3)$$

式中: k 表示弹簧刚度, $N \cdot mm^{-1}$; ΔL 表示弹簧拉伸量, mm; G 表示切变模量, MPa; N_c 表示弹簧的有效圈数。

由文献[8]可知, P 与 F 近似呈线性关系, 其转换系数(a)与弹簧伸长率有关, 满足下式。

$$P = aF \quad (4)$$

$$a = 82.3\varepsilon^2 - 25.3\varepsilon + 10.7 \quad (5)$$

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2017YFE0101900)

作者简介: 李秀珍(1981—), 女, 河南开封人, 中车株洲电力机车研究所有限公司高级工程师, 硕士, 主要从事风电机组设计开发工作。

*通信联系人(huangle27@163.com)

1.2 试验验证

通过径向力测量仪开展弹簧 P 的试验验证,可依据 D_r 选取合适规格的弹簧。

不同规格和不同伸长率下弹簧 P 的试验值与计算值如表1所示。

表1 弹簧 P 的试验值与计算值

规格	$\varepsilon/\%$	D_r/mm	P	
			试验值/N	计算值/N
0.30×1.6	2.0	45	12.7	12.9
0.30×1.6	5.1	45	15.0	15.3
0.30×1.6	8.7	45	17.7	18.0
0.30×1.6	12.1	45	21.3	20.9
0.46×2.45	1.3	45	30.0	29.4
0.46×2.45	4.3	45	35.9	35.1
0.46×2.45	7.1	45	41.6	40.3
0.46×2.45	10.4	45	47.3	46.4
0.46×2.46	1.3	70	29.9	29.1
0.46×2.46	2.8	70	32.6	32.3
0.46×2.46	4.5	70	35.8	35.9
0.46×2.46	6.3	70	38.8	39.4
0.60×3.49	2.6	70	37.3	37.9
0.60×3.49	4.4	70	41.5	42.1
0.60×3.49	6.4	70	46.2	46.9
0.60×3.49	8.6	70	51.1	51.7

从表1可以看出, P 的试验值与计算值存在一定的差异,但差异较小,因此 P 的计算结果可用于其实际值的估算。

2 结果与讨论

2.1 弹簧 P 的计算结果

常用的弹簧规格有8种,包括0.30×1.6, 0.36×2, 0.45×2.5, 0.50×3.0, 0.60×3.5, 0.80×4.0, 1.00×5.0和1.20×7.0,在不同 D_r (50~1 600 mm)和不同 ε ($\leq 10\%$)下弹簧 P 可以通过式(1)~(5)进行计算,结果见表2。

通过函数拟合发现,随着 ε 的增大, P 呈线性增大,即

$$P = c_1\varepsilon + c_2 \quad (6)$$

式中, c_1 和 c_2 为待定系数,可以通过曲线拟合得到,如表3所示。

2.2 弹簧单位径向力(P_r)分析

P_r 与 D_r 有关,其计算公式为

$$P_r = \frac{P}{\pi D_r} \quad (7)$$

表2 不同规格弹簧 P 的计算结果

规格	$\varepsilon/\%$			
	0.6	3.7	6.8	10.0
0.30×1.6	11.1	13.9	16.4	18.9
0.36×2.0	15.1	18.3	21.4	24.4
0.45×2.5	23.6	28.7	33.4	38.1
0.50×3.0	25.7	30.3	34.4	38.7
0.60×3.5	38.9	46.1	53.0	59.9
0.80×4.0	87.9	113.0	136.1	159.1
1.00×5.0	137.4	176.7	212.9	248.6
1.20×7.0	155.4	184.4	211.6	239.1

表3 不同规格弹簧 c_1 和 c_2 的拟合结果

规格	c_1	c_2	R^2
0.30×1.6	82.02	10.78	0.999
0.36×2.0	98.88	14.64	1.000
0.45×2.5	154.46	22.87	0.999
0.50×3.0	137.60	25.08	0.999
0.60×3.5	222.81	37.79	1.000
0.80×4.0	755.91	84.45	0.999
1.00×5.0	1 178.70	132.16	0.999
1.20×7.0	887.61	151.15	1.000

注: R^2 为拟合方差(相关因数)。

一般 P_r 在 $100\sim 200 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ 时,既能保证油封的密封效果又可以避免油封过快磨损。

假定 P_r 在 P_r 中的占比为 $20\%\sim 40\%$,同时 P_r 转化为 P_r 的转化效率为 70% ,则需要 P_r 为 $29\sim 114 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$ 。

从表2可以看出,同一规格弹簧在同一 ε 下的 P 为定值,而由式(7)可知 P 相同时,随着 D_r 的增大, P_r 呈线性减小的趋势。图1示出了0.50×3.0规格弹簧在不同 ε 下 P_r 随 D_r 的变化趋势。

从图1可以看出,特定规格的弹簧提供的 P_r 会随着 D_r 的增大呈下降趋势。 D_r 只在一定的范围内

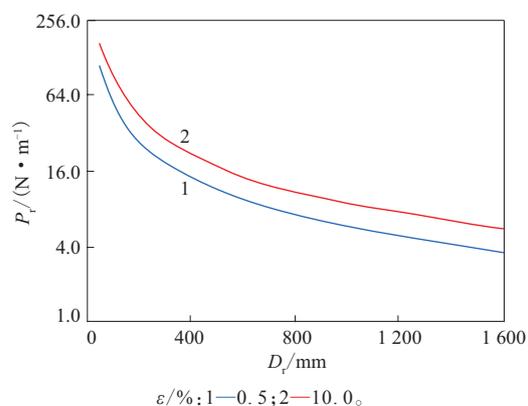


图1 0.50×3.0规格弹簧在不同 ε 下 P_r 随 D_r 的变化

才能提供合适的 P_r ,以满足油封密封的需求, D_r 小于此范围, P_r 过大,容易加速油封唇口的磨损,缩短油封的使用寿命; D_r 大于此范围,则 P_r 太小,无法满足油封密封的要求。

通过函数拟合发现 P_r 随 D_r 衰减规律服从幂函数关系,即

$$P_r = \frac{c_3}{D_r} \quad (8)$$

式中, c_3 为待定系数,可以通过曲线拟合得到,如表4所示,各拟合函数的相关因数均为1。

表4 不同规格弹簧 c_3 的拟合结果

规格	$\varepsilon/\%$	
	0.5	10.0
0.30×1.6	2 484.1	4 203.8
0.36×2.0	3 375.8	5 445.9
0.45×2.5	5 254.8	8 503.2
0.50×3.0	5 732.5	8 630.6
0.60×3.5	8 662.4	13 344.0
0.80×4.0	19 586.0	35 478.0
1.00×5.0	30 637.0	55 414.0
1.20×7.0	34 650.0	53 312.0

将拟合得到的 c_3 值代入式(8),计算各种规格弹簧的 P_r 为29和114 N·m⁻¹时的 D_r ,从而得到 D_r 的适用范围,如表5所示。

表5 不同规格弹簧 D_r 的适用范围 mm

规格	最小 D_r	最大 D_r
0.30×1.6	22	145
0.36×2.0	30	188
0.45×2.5	46	293
0.50×3.0	50	298
0.60×3.5	78	460
0.80×4.0	172	1 223
1.00×5.0	269	1 911
1.20×7.0	304	1 838

从表5可以看出:不同规格弹簧 D_r 的适用范围各不相同,随着弹簧钢丝直径的增大,弹簧适用的最小 D_r 增大;有些规格弹簧 D_r 的适用范围也非常接近,可以相互替代,如0.45×2.5和0.50×3.0两种规格弹簧及1.00×5.0和1.20×7.0两种规格弹簧。

从计算结果也可以看出各种规格弹簧 D_r 的适用范围存在交叉,即在同一 D_r 下几种规格弹簧都适

用,只是产生相同 P_r 时需要的 ε 有所差异。

2.3 应用实例

以规格为710×744×25 mm的油封弹簧为例,介绍上述方法的应用。此油封安装沟槽的 D_r 为710 mm, P_{r1} 为150 N·m⁻¹, P_r 占比为30%,确定合适的弹簧规格及 ε 。

从表5可以看出,0.80×4.0,1.00×5.0和1.20×7.0规格弹簧可能满足 D_r 为710 mm的要求;根据 P_{r1} 要求,计算 P_r 为64.3 N·m⁻¹,进而得到 P 为143.4 N;然后从表2查看这3种规格弹簧 P 的范围,发现只有0.80×4.0和1.00×5.0两种规格弹簧符合要求,而1.20×7.0规格弹簧的最小 P 大于143.4 N,初始力过大不符合要求;最后由公式(6)和表3计算得到这两种规格弹簧的 ε 分别为7.80%和0.95%时能满足要求。

3 结论

确定油封弹簧 P 的计算方法,并经径向力测量仪试验验证,对8种常用规格的弹簧 P 进行计算分析,获得这几种规格弹簧 ε 在10.0%内 P 的变化范围;然后依据设计指标推算 P_r 的取值范围,从而得到这8种规格油封弹簧 D_r 的适用范围;最后以实例介绍弹簧规格及 ε 的选取。

在实际工程应用中,由于弹簧材质及其热处理方式存在差异, D_r 的适用范围可能会略有变化,但分析方法是一致的,可以结合具体情况,参考本工作的方法修正各数据的适用范围。

参考文献:

- [1] 康帅,赵良举,杜长春,等.旋转唇形油封密封性能的有限元分析[J].机械科学与技术,2015,34(9):1-6.
- [2] 张付英,王宏浩,姜向敏.基于ABAQUS的油封密封性能研究[J].润滑与密封,2017,42(5):78-82.
- [3] 唐陈,赵良举,杜长春,等.油封密封性能的实验研究[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2016,39(8):1027-1030.
- [4] 江华生,孟祥铠,沈明学,等.油封唇口静态接触特性的有限元分析[J].润滑与密封,2016,41(10):57-61.
- [5] 李树虎,庞明磊,贾华敏,等.橡胶密封圈径向力分析方法[J].橡胶工业,2012,59(4):232-236.
- [6] 赵敏敏,黄乐,张岐,等.基于Ansys的O形橡胶密封圈密封性能及可靠性研究[J].橡胶工业,2020,67(2):131-134.

- [7] 李苗苗,陈蔚芳,崔惠婷,等. 安装过盈量和介质压力对旋转轴唇形橡胶密封圈密封性能的影响[J]. 橡胶工业,2019,66(6):450-455.
- [8] 徐起升,黄乐,向宇,等. 不同温度下橡胶油封单位径向力的测试与计算[J]. 橡胶科技,2018,16(10):48-51.
- [9] 谭晶,杨卫民,丁玉梅,等. 弹簧对油封密封性能的影响[J]. 特种橡胶制品,2008,29(3):41-48.

收稿日期:2020-05-05

Specification Selection and Applicability Analysis of Oil Seal Spring

LI Xiuzhen¹, YANG Jianfei¹, HUANG Le², WU Jun², ZHAO Minmin²

(1. CRRC Zhuzhou Electric Locomotive Research Institute Co., Ltd. Zhuzhou 412007, China; 2. Guangzhou Mechanical Engineering Research Institute Co., Ltd. Guangzhou 510535, China)

Abstract: A calculation method of the radial force of oil seal spring (P) was introduced, and the verification test was carried out. 8 kinds of common oil seal springs (0.30×1.6 , 0.36×2.0 , 0.45×2.5 , 0.50×3.0 , 0.60×3.5 , 0.80×4.0 , 1.00×5.0 and 1.20×7.0) were selected, and P values were calculated under different shaft diameters ($50 \sim 1\,600$ mm) and different elongation ($< 10\%$). According to the recommended P values, the applicable ranges of the shaft diameter of suitable specifications of oil seal spring were obtained, and a reference for the selection and design of the oil seal spring was provided.

Key words: oil seal spring; specification; spring radial force; shaft diameter

“橡链云”工业互联网平台发布 日前,赛轮集团股份有限公司(简称赛轮集团)“橡链云”工业互联网(简称“橡链云”)平台正式对外发布。这是全球首个真正投入使用的橡胶工业互联网,已有800余家供应商、1 200余家经销商以及5 000多家门店入驻,实现了企业内部运营和上下游企业的全面互通。

“橡链云”由赛轮集团联合软控股份有限公司、青岛科技大学、中国电信、阿里达摩院等合作伙伴共同打造,为橡胶行业提供智能制造、数字营销、智慧供应链、协同目标研发数字运营等领域的解决方案。据赛轮集团副总裁兼信息中心总经理朱小兵介绍,“橡链云”旨在促进产业链上下游企业的集聚和融合,实现产业链核心业务的一体化、平台化、多元化运营,形成一个“开放、共生、共赢”的生态系统,进行全产业链赋能。

“橡链云”通过对机理模型和数据的物联集成,可为不同业务场景提供专业、丰富的软件服务和App应用。目前,该平台已实现橡胶加工所有工序的“人机料法环测”的全面互联,构建了完整、丰富的机理模型库,实现了99%以上设备的互联互通;采集点达百万级,年数据采集增量在45亿条以

上;在全面质量控制、自动排程、人工智能视觉识别等方面也已有大量实践案例。

在制造端,基于“橡链云”,赛轮集团构建了模块化、标准化、平台化的快速推广复制能力。以新建智能工厂为例,设备安装调试周期可以从常规的18个月缩短至3个月;工厂管理方面,可做到全球所有工厂一套系统、一套数据、一张报表;远程设备诊断运维平台则可为海外工厂的正常运转及产能稳定提升保驾护航。

在渠道端,“橡链云”通过与用友、速达、管家婆等行业主流软件厂商的战略合作,为海内外经销商提供营销模式、供应链优化等一站式服务解决方案,助力渠道实现全链路、全场景的数字化转型升级,实现了经销商与下属所有门店的订单、物流、库存、结算的在线协同。

在消费端,“橡链云”可为不同类型的用户提供创新服务。对于野外矿区车主和商业运输车队,可提供轮胎温度、充气压力、行驶轨迹的实时服务,并支持按里程、使用寿命收费的新型商业模式。对于普通车主来说,通过链接“橡链云”,可享受安全预警、快速救援、轮胎保险等服务。

(摘自《中国化工报》,2020-06-17)