

文章编号: 1004-4353(2020)03-0265-05

# 一种液性塑料的薄壁类零件磨削夹具的设计

刘建刚<sup>1,2</sup>, 杜风娇<sup>1</sup>

(1. 武夷学院 机电工程学院, 福建 南平 354300; 2. 浙江理工大学 机械与自动控制学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:** 为提高薄壁类零件外圆磨削的加工精度, 利用液性塑料设计了一种薄壁类零件磨削夹具. 对该液性塑料的外圆磨削夹具进行理论分析表明, 薄壁套对薄壁类零件产生的径向膨胀应力(25.22 MPa)能够克服薄壁类零件外圆磨削所产生的摩擦力(200 N). 利用 Workbench 软件对薄壁套的变形进行有限元分析表明, 密封腔液性塑料的压强达到 7.44 MPa 时, 液性塑料对薄壁套的外表面可产生 101.78 MPa 的径向膨胀应力. 通过对套阀阀芯进行仿真和对螺塞拧紧力矩进行理论计算表明, 拧紧螺塞所需的拧紧力矩为 2.58 N·m, 套阀阀芯的最大变形为 0.002 1 mm, 最大应力为 25.22 MPa, 最大应变为 0.000 13 mm. 对夹具进行可靠性分析表明, 其应力可靠度为 100%. 以上结果表明, 本文设计的基于液性塑料薄壁类零件磨削夹具安全可靠, 可用于磨削加工薄壁类零件.

**关键词:** 夹具; 液性塑料; 薄壁套; 套阀阀芯; 有限元分析; 可靠度

**中图分类号:** TG75

**文献标识码:** A

## Design of grinding fixture for thin wall parts of liquid plastics

LIU Jiangang<sup>1,2</sup>, DU Fengjiao<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Wuyi University, Nanping 354300, China;  
2. Faculty of Mechanical Engineering & Automation, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** In order to improve the machining accuracy of cylindrical grinding of thin-walled parts, a kind of grinding fixture for thin-walled parts was designed using liquid plastic. The theoretical analysis of the fixture shows that the radial expansion stress (25.22 MPa) produced by the thin-walled sleeve on the thin-walled parts can overcome the friction force (200 N) produced by the cylindrical grinding of the thin-walled parts. The finite element analysis of the deformation of the thin-walled sleeve by workbench software shows that when the pressure of the liquid plastic in the sealing chamber reaches 7.44 MPa, the radial expansion stress of 101.78 MPa can be produced by the liquid plastic on the outer surface of the thin-walled sleeve. Through the simulation of the valve core and the theoretical calculation of the screw plug tightening torque, the results show that the required tightening torque is 2.58 N·m, the maximum deformation of the valve core is 0.002 1 mm, the maximum stress is 25.22 MPa, and the maximum strain is 0.000 13 mm. The reliability analysis of the fixture shows that the stress reliability is 100%. The results show that the fixture designed in this paper is safe and reliable, and can be used for grinding thin-walled parts.

**Keywords:** fixture; liquid plastic; thin-wall sleeve; sleeve valve core; finite element analysis; reliability

## 0 引言

薄壁零件在磨削外圆加工过程中, 因其刚度

低, 易产生变形, 从而影响薄壁零件的加工精度. 为了保证薄壁类零件的加工精度, 一些研究者提出了使用夹具的方法. 例如: 黄华宾<sup>[1]</sup>针对异形腔

收稿日期: 2020-06-30

作者简介: 刘建刚(1987—), 男, 工程师, 研究方向为机械传动、农业机械、夹具设计.

基金项目: 福建省中青年骨干教师教育科研项目(JAT190778); 武夷学院校级教改项目(KC202021)

薄壁壳体零件的加工特征,制作了一种工装夹具,该夹具可有效提高装卸工件的效率.张珂等<sup>[2]</sup>提出了一种用于线束接插件的自动化夹具的优化方法,该方法可将原加工中 0.2 mm 的变形量降低到 0.1 mm 以下.杜风娇等<sup>[3]</sup>利用蛇形弹簧设计了一套薄壁套筒类零件磨削夹具,但作者未对该方案开展动平衡实验,因此采用该方案加工的零件表面有可能产生振动波纹.杨志源等<sup>[4]</sup>通过设计多自由度夹具有效地解决了薄壁类零件加工时装夹定位困难的问题.目前为止,学者对液性塑料夹具方面的研究大多仅限于理论分析和辅助测量等<sup>[5-8]</sup>,而对其具体设计和可靠性研究得较少.如文献<sup>[9]</sup>设计了一款液性塑料夹具用于加工连杆零件,该夹具方案虽能够保证零件的位置尺寸,但当压力过大时会有少许液性塑料从活塞与芯轴的间隙中漏出.基于上述研究,本文以液压凿岩机套阀阀芯为例,利用液性塑料设计一种薄壁套筒类零件外圆磨削夹具,并通过仿真验证本文提出方法的可行性.

### 1 夹具设计

#### 1.1 工艺要求

图 1 为套阀阀芯的设计图.由图 1 可知,Φ36、Φ40、Φ42、Φ44 的外圆表面需要具有较高的同轴度和较低的粗糙度.Φ36、Φ40、Φ42、Φ44 表面的加工工艺图如图 2 所示.由图 2 可知,产品的设计要求为:以套阀阀芯内径(Φ42)为定位基准 A,Φ40 和 Φ44 的外圆相对 A 基准的同轴度为 Φ0.01 mm,Φ40、Φ44 的外圆表面粗糙度为 0.4 μm.

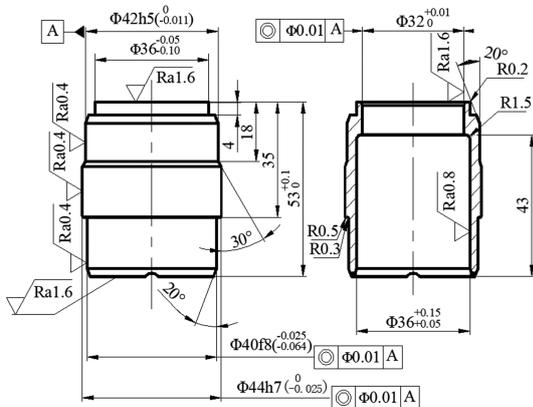


图 1 套阀阀芯的设计图

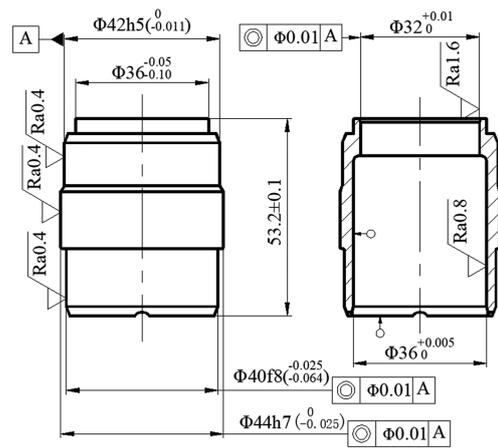


图 2 套阀阀芯的加工工艺图

#### 1.2 夹具的设计原理和组装

图 3 为本文设计的夹具装配示意图,其工作方式为:在薄壁套筒内,由芯轴、芯轴 II、柱塞、薄壁套和加压螺钉形成一个密封腔;液性塑料将其在密封腔内受到的压强(由柱塞拧紧力压迫而产生的)均匀地传递给薄壁套,薄壁套受到挤压后产生径向变形并挤压套阀阀芯,从而达到限制套阀阀芯旋转的目的.

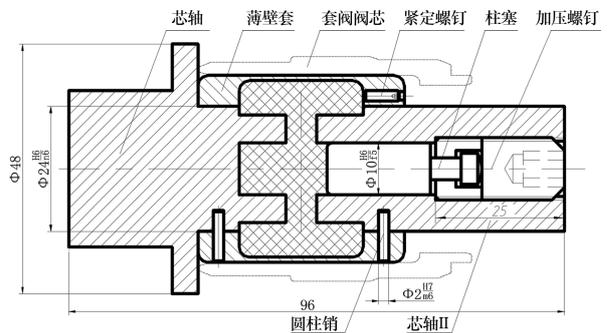


图 3 夹具装配示意图

薄壁套(见图 4)为夹具的关键零件,其最大外径尺寸为 Φ36.为保证夹具使用的稳定性,本文在设计薄壁套时,将其左、右端面的平行度和粗糙度设置为 0.4 μm,内圆的粗糙度设置为 0.4 μm,外圆 Φ36 处的圆跳动值设置为 0.02 mm.

#### 1.3 夹具使用步骤

夹具的使用步骤为:①通过圆柱销将薄壁套、芯轴及芯轴 II 固定,并形成开放的容积腔;②通过芯轴 II 内孔将液性塑料注入至开放的容积腔内;③通过加压螺钉和柱塞使液性塑料所在的容积腔变成一个密封腔;④通过拧紧加压螺钉使柱塞轴向移动,以此压紧液性塑料.

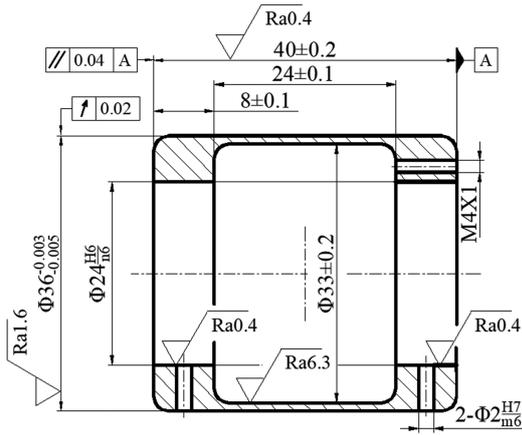


图 4 薄壁套示意图

## 2 理论计算与仿真

### 2.1 理论计算

薄壁套选取 65Mn,套阀阀芯选取 40Cr,假设套阀阀芯外圆磨削产生的摩擦力为 200 N(经验值)<sup>[3]</sup>.通过对薄壁套进行有限元仿真(结果见图 5—图 7)可知,当密封腔内的压强达到 7.44 MPa 时,薄壁套与套阀阀芯接触产生过盈配合,此时的薄壁套外表面最大应力值为 101.78 MPa,套阀阀芯内的表面最大应力值为 25.22 MPa. 根据文献[11],本文将套阀阀芯与薄壁套之间的摩擦系数设置为 0.2,由此可得薄壁套与套阀阀芯之间的摩擦力  $F_f = 25.22 \times \pi \times 0.18^2 \times 0.04 = 205.3 \text{ N} > 200 \text{ N}$ ,此时拧紧螺塞所需的轴向力为  $F = P \times S = 186 \text{ N}$ .

螺栓拧紧力矩-轴向力关系的表达式<sup>[11]</sup>为

$$M = \left[ \frac{2(R^3 - r^3)f}{3(R^2 - r^2)} + \frac{d_2 \text{tg}(\lambda + \rho)}{2} \right] F = \left[ \frac{2(R^3 - r^3)f}{3(R^2 - r^2)} + \frac{d_2 (t \cos \beta + f' \pi d_2)}{2(\pi d_2 \cos \beta - t f')} \right] F. \quad (1)$$

式中:  $M$  为螺栓拧紧力矩(N·m);  $F$  为螺栓轴向力(N);  $d_2$  为 M12 粗牙螺纹中径,  $d_2 = 10.86 \text{ mm}$ ;  $\lambda$  为螺纹升角( $^\circ$ ),  $\lambda = \arctg(t/d_2)$ ,  $t$  为螺距(mm),  $\lambda = 60^\circ$ ;  $f$  为螺母与被连接件支撑面间的摩擦系数,  $f = 0.2$ ;  $\rho$  为螺旋副的当量摩擦角,  $\rho = 24.8^\circ$ ;  $\text{tg} \rho$  为螺旋副的当量摩擦系数,  $\text{tg} \rho = f' / \cos \beta$ , 其中  $\beta$  为三角型螺纹半角( $\beta = 30^\circ$ ),  $f'$  为螺旋副间的摩擦系数;  $R$  为 M10 粗牙螺纹大径,  $R = 12 \text{ mm}$ ;

$r$  为 M10 粗牙螺纹小径,  $r = 10.11 \text{ mm}$ . 由式(1)计算可得,芯轴 II 右端面的加压螺钉的拧紧力矩  $M$  为  $2.58 \text{ N} \cdot \text{m}$  时,柱塞产生的轴向力为 186 N,密封腔内液性塑料承受的压强为 7.44 MPa.

### 2.2 仿真分析

对薄壁套进行仿真得到的应力图、变形图和应变图如图 5—图 7 所示. 由图 5—图 7 可知:薄壁套的应力峰值为 101.78 MPa,薄壁套的变形峰值为 0.007 7 mm,薄壁套的应变值为 0.000 51 mm. 由薄壁套所用材料(65Mn)的屈服极限(430 MPa)可知,薄壁套不会发生塑性破坏,即材料满足设计要求.

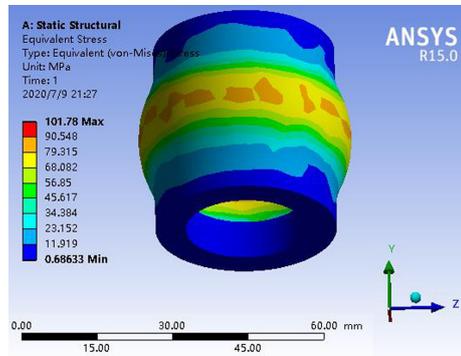


图 5 薄壁套的应力图

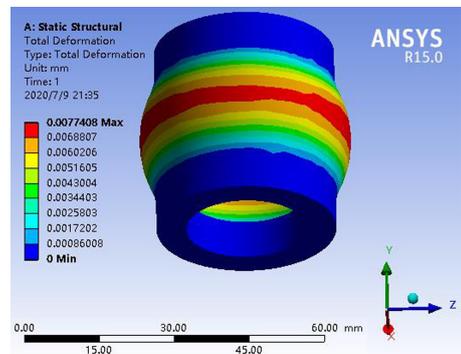


图 6 薄壁套的总变形图

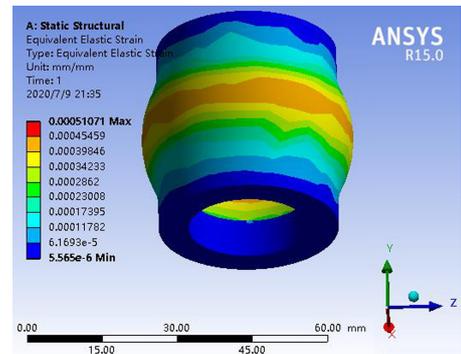


图 7 薄壁套的应变图

对套阀阀芯进行仿真得到的应力图、变形图和应变图如图 8—图 10 所示。由图 8—图 10 可知:套阀阀芯的应力峰值出现在套阀阀芯与薄壁套(Φ36)的配合处,为 25.22 MPa;套阀阀芯的径向变形峰值为 0.002 1 mm,套阀阀芯的径向应变峰值为 0.000 13 mm。由套阀阀芯所用材料(40Cr)的屈服极限(785 MPa)可知,材料满足设计要求。

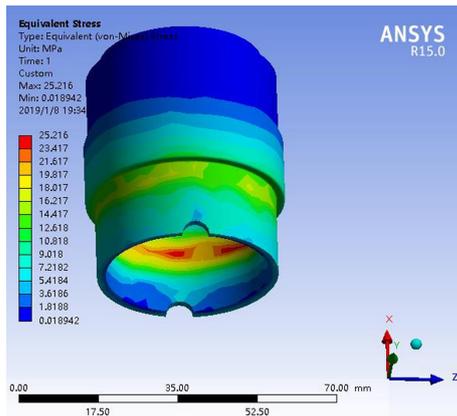


图 8 套阀阀芯的应力图

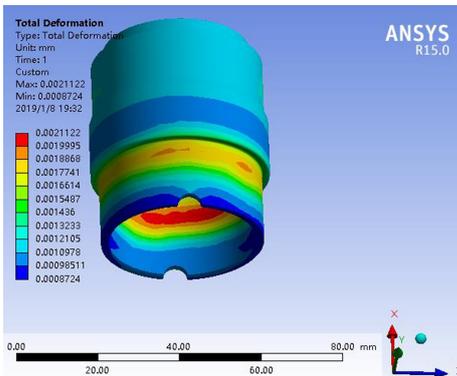


图 9 套阀阀芯的变形图

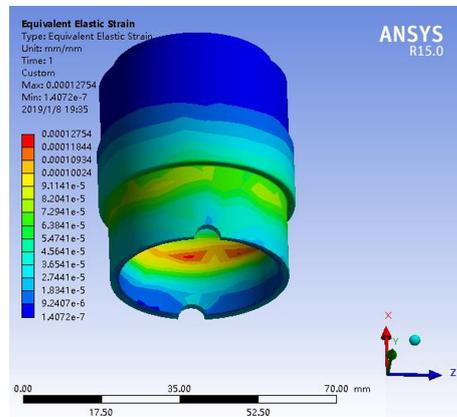


图 10 套阀阀芯的应变图

### 3 夹具可靠性分析

#### 3.1 套阀阀芯磨削的可靠性分析

根据 2.1 中的计算可知,套阀阀芯与薄壁套之间的摩擦力(205.3 N)大于外圆磨削时产生的摩擦力(经验值为 200 N),因此磨削过程不会产生打滑现象,即套阀阀芯磨削夹具的磨削力满足设计要求。

#### 3.2 薄壁套应力的可靠性分析

薄壁套应力的标准正态分布的计算公式<sup>[12]</sup>为

$$z = -\frac{\mu_F - \mu_S}{\sqrt{\sigma_F^2 + \sigma_S^2}} \quad (2)$$

式中: $\mu_F$  为材料的许用强度<sup>[14]</sup>, $\mu_F = 430$  MPa; $\mu_S$  为薄壁套所受应力值, $\mu_S = 11.9 \sim 101.78$  MPa; $\sigma_S$  为应力分布标准差,为 6.1 MPa(由文献[12]中的经验公式计算所得); $\sigma_F$  为强度标准差, $\sigma_F = 26.24$ 。由式(2)计算得 $z = -12.2$ 。根据正态分布表<sup>[14]</sup>可知,薄壁套的应力可靠度为 100%,失效率为 0。

### 4 结论

本文设计了一种基于液性塑料的薄壁类零件磨削夹具,对其进行理论计算显示,密封腔内的压强达到 7.44 MPa 时即可克服套阀阀芯外圆磨削所产生的摩擦力,此时加压螺钉所需的扭矩为 2.58 N·m。对薄壁套及套阀阀芯的可靠度进行仿真验证表明,本文设计的薄壁套筒类零件磨削夹具的应力可靠度为 100%,因此本文方法对提高薄壁类零件的制造精度具有很好的参考价值。本文在研究中因条件限制,未能对装配后的夹具进行动平衡实验,且未能考虑液性塑料的热膨胀对夹紧力的影响,因此今后我们将对本文方案开展动平衡实验,并对液性塑料的热膨胀进行研究,以提高本文方法的可靠性和适用性。

#### 参考文献:

- [1] 黄华宾. 薄壁壳体液压自制工装的设计[J]. 金属加工(冷加工), 2018, 12(12): 48-50.
- [2] 张珂, 牛长青, 刘思源, 等. 薄壁异形件自动化夹具的仿真分析及优化[J]. 机械设计与制造, 2020(3): 214-219.
- [3] 杜凤娇, 刘建刚. 薄壁套筒类零件磨削夹具的设计

- 及其可靠性分析[J]. 延边大学学报(自然科学版), 2019, 45(3): 268-271.
- [4] 杨志源, 代巍, 刘国斌, 等. 多自由度定位装置及系统[J]. 装备制造技术, 2017(4): 212-214.
- [5] 宋树林, 孙贵青. 用于某转子同心度测量的液性塑料夹具设计[J]. 现代制造技术与装备, 2020(5): 16-19.
- [6] 李文玉. 液性塑料夹具中的薄壁套筒的力学分析[J]. 现代制造技术与装备, 2010(4): 54-55.
- [7] 李传才, 潘玉田, 李会营, 等. 液性塑料夹具[J]. 机械制造与自动化, 2011, 40(4): 27-28.
- [8] 陈树峰, 刘浩. 液性塑料夹具中的薄壁套筒精确设计与分析[J]. 煤矿机械, 2003(9): 11-13.
- [9] 陈向荣, 窦鲁豫. 液性塑料夹具在孔精确定位中的应用[J]. 机床与液压, 2010, 38(2): 112.
- [10] 范凤仙. 加工薄壁零件的弹性胀紧夹具[J]. 制造·材料, 1999, 434(38): 61-62.
- [11] 林水福, 余公藩. 螺栓拧紧力矩-轴向力关系研究[J]. 航空标准化与质量, 1991, 12(6): 16-19.
- [12] 孙靖民. 现代机械设计方法[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2011: 51-52.
- [13] 温秉全. 金属材料手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 8-81.
- [14] 芮延年, 傅戈雁. 现代可靠性设计[M]. 北京: 国防工业出版社, 2007: 254.

\*\*\*\*\*

(上接第 259 页)

### 参考文献:

- [1] 刘玥, 韩雪峰, 牛宏, 等. 神府矿区煤矸石周边土壤重金属污染评价[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2015, 34(9): 1021-1025.
- [2] 王浩, 章明奎. 有机质积累和酸化对污染土壤重金属释放潜力的影响[J]. 土壤通报, 2009, 40(3): 538-541.
- [3] 杜彩艳, 祖艳群, 李元. pH 和有机质对土壤 Cd 和锌生物有效性影响研究[J]. 云南农业大学学报, 2005, 20(4): 539-543.
- [4] 刘军, 张成福, 孙冬杰, 等. 草原区煤矿开采对周边旱作农田土壤养分和重金属的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(7): 909-916.
- [5] 李刚, 卢楠, 魏样. 矿区污染土壤重金属含量与土壤主要养分相关性研究[J]. 西部大开发(土地开发工程研究), 2019, 4(3): 33-38.
- [6] 雷冬梅, 段昌群, 王明. 云南不同矿区废弃地土壤肥力与重金属污染评价[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(2): 612-616.
- [7] 刘凤枝, 李玉浸. 土壤监测分析技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [8] 唐近春. 全国第二次土壤普查与土壤肥料科学的发展[J]. 土壤学报, 1989, 26(3): 234-240.
- [9] 刘平, 张强, 程滨, 等. 电厂煤粉尘沉降特征及其对周边土壤主要性质的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2010(5): 21-24.
- [10] 阿依谢姆古丽·图尔荪, 艾则孜提约麦尔·麦麦提, 玉苏甫·买买提. 伽师县耕作土壤有机质与盐分相关性分析[J]. 中国农学通报, 2018, 34(3): 120-127.
- [11] 雷咏雯, 危常州, 李俊华, 等. 不同尺度下土壤养分空间变异特征的研究[J]. 土壤, 2004, 36(4): 376-381.
- [12] 魏复盛, 杨国治, 蒋德珍, 等. 中国土壤元素背景值基本统计量及其特征[J]. 中国环境监测, 1991, 7(1): 1-6.
- [13] 黄大伟, 桂和荣. 宿南矿区土壤重金属含量特征及其来源解析[J]. 地球与环境, 2017, 45(5): 546-554.
- [14] COVELO E F, VEGAF A, ANDRADE M L. Simultaneous sorption and desorption of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn in acid soils II. Soil ranking and influence of soil characteristics[J]. Journal of Hazardous Materials, 2007, 147(3): 862-870.
- [15] 郭平. 长春市土壤重金属污染机理与防治对策研究[D]. 长春: 吉林大学, 2005.
- [16] SAADA A, BREEZE D, CROUZET C, et al. Adsorption of arsenic (V) on kaolinite and on kaolinite-humic acid complexes: Role of humic acid nitrogen groups[J]. Chemosphere, 2003, 51(8): 757-763.
- [17] EMENT M T, KHOE G H. Photochemical oxidation of arsenic by oxygen and iron in acidic solutions[J]. Water Research, 2001, 35(3): 649-656.
- [18] 吴建芝, 王艳春, 田宇, 等. 北京市公园和道路绿地土壤重金属含量特征比较研究[J]. 北京园林, 2016, 32(3): 53-58.
- [19] 乔雪, 卢海军, 刘妹, 等. 齐齐哈尔市主城区道路绿地土壤重金属、pH、有机质含量及相关性研究[J]. 宁夏农林科技, 2018, 59(2): 30-32.