

螺杆压缩机供油压差低原因与故障排除分析

杨海波

(国能榆林化工有限公司 陕西 榆林 719300)

摘要: 公司气化变换装置回收气氨的核心设备是由麦克维尔制造的成套氨压缩机组,主机是由日本前川生产的N200MUD-H 喷油双螺杆压缩机。该机组自2021年2月投用后,运行状态一直不稳定,上半年曾先后多次因增减载电磁故障、无法自动或手动加减载而进行停机处理,后期开始频繁出现供油压差低、连锁跳车现象,多次排气、调试、换油、更换滤芯均没有找到故障的根本原因。经过系统的维修及调试,目前压缩机供油压差稳定。本文针对故障原因分析及处理方案进行详细介绍。

关键词: 双螺杆压缩机; 过滤; 压差; 压力; 磨损; 间隙; 润滑油

1 电磁阀 SV-C9002 卡涩不动作原因分析

1.1 导致增减载电磁阀不动作的原因

经过查阅该电磁阀结构原理及说明书^[1],停机后对电磁阀进行拆检,发现阀体内部较脏,杂质污垢较多。因该压缩机组属于开式系统,气氨进入机组后与润滑油混合到一起,经过压缩后气氨和润滑油一起进入油分离器进行分离。气氨经系统冷却形成液氨,而润滑油经分离、过滤后,经过油泵重新进入机组润滑点供油。机组的供油点除机封、轴瓦等部件外,还包括增减载电磁阀。若入口气氨有杂质,经过吸气过滤器过滤后,仍有少部分杂质进入系统中污染润滑油,润滑油循环过程中会造成增减载电磁阀卡涩、不动作。

1.2 分析原因及处理

目前,除了停机或在线更换清洗电磁阀外,没有更好的处理办法;为了减少维修时间,现场采购一台电磁阀备用,停机更换。如果考虑改造,可以将润滑油和气体介质分开设置,避免介质污染润滑油。

2 导致供油压差低的原因分析

供油压差: 油泵出口、精过滤器入口位置的压力与机组排气压力的差值(图1中的PDIA),正常值为350kPa左右,低于100kPa则出现跳车现象。

压缩机系统主要包含的设备及重要阀门有:主机1台(单级压缩)、气液分离器1台、油分离器1台、

油冷却器2台、油泵入口粗过滤器2个、油泵出口精过滤器2个、喷油过滤器1个、自力式调压阀、二次回油阀、泄油阀、喷油阀、机组入口吸气过滤器等。

经过对机组流程的充分了解^[2],充分掌握了该机组的特点及详细参数,现场对可能产生的原因进行了逐一的分析与处理,并进行了排除。

2.1 自力式调压阀 PCVV001

该阀门位于油泵出口至油分离器之间的管路上,控制油泵出口压力与压缩机排气压力的差值。该阀门若开得过大,会导致油泵出口的油直接回到油分离器里,从而导致供油压差低。对照图1PID流程图,发现油泵出口的自力式调压阀PCVV001,压差设置为3bar(1bar=0.1MPa),当前后压差超过此值时,该调压阀起跳,所以该调压阀是保证供油压力和压差的重要阀门。排查过程中将该阀门返厂检查一次,厂家反馈检查结果正常;返回后发现将该阀门的调解螺钉关到最大或加盲板,对供油压力影响非常小,所以判断该阀门不是供油压差低的主要原因。

2.2 机组泄油阀 Rc1/2

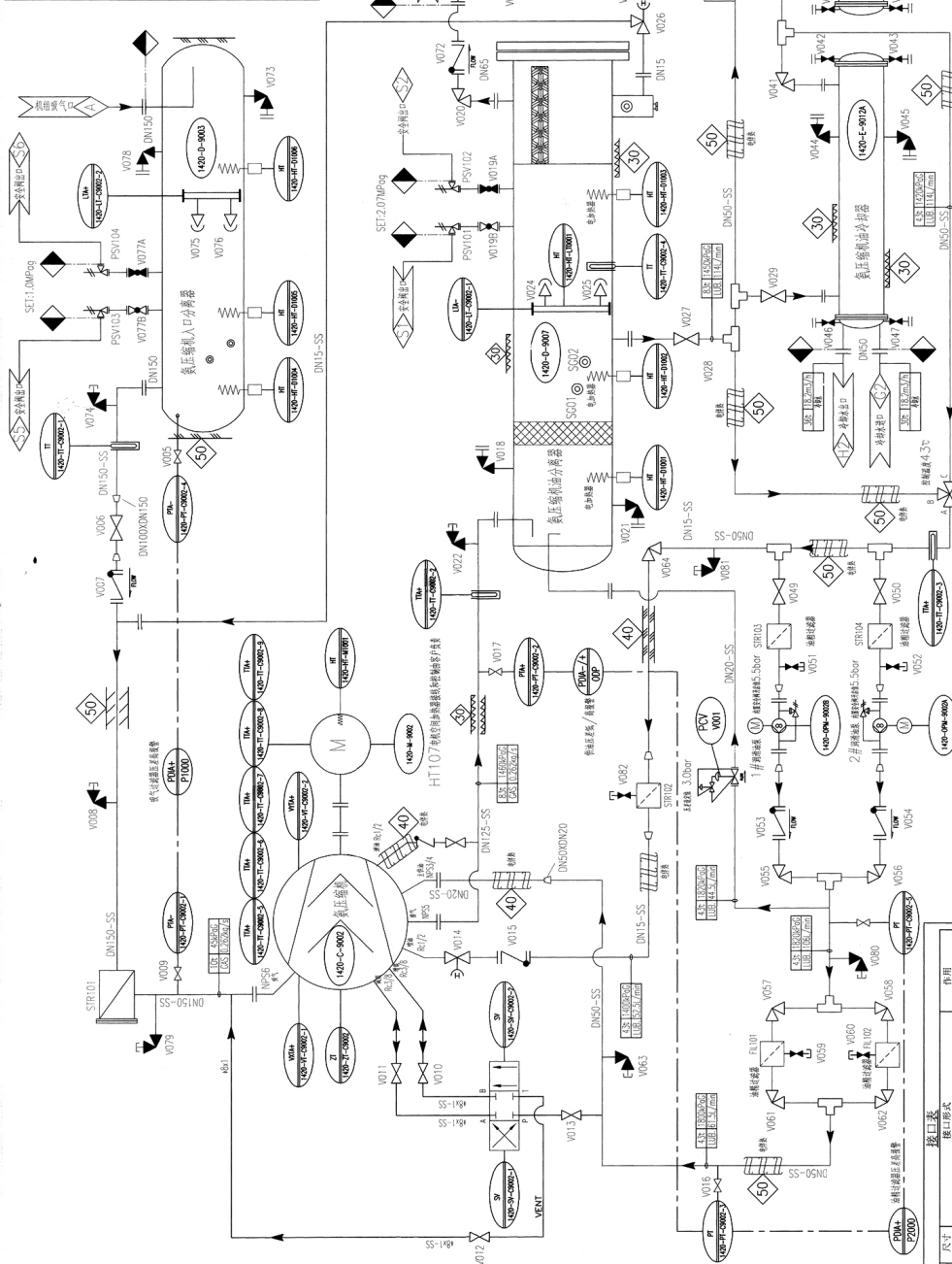
该阀门位于主机入口底部位置,连通主机与出口排气管路。若该阀门开大,会导致油泵打进机组的油不经过机组润滑点、直接经过该管路和阀门回到油分离器,导致供油压差低。上半年机组运行过程中,该阀门一直保持打开状态,运行良好;下半年开始频繁跳车,将该阀门关闭后,只有一次启动正常且可

CLASSIFIED 极秘

重点注意：
当消除保压试验压力 > 2.0 MPa 时，必须防止保压期间，保压期间不得进行任何操作。
保压试验之前，必须将保压期间，保压期间不得进行任何操作。

最大工作压力	2.5 MPa	设计压力	2.5 MPa	试验压力	3.75 MPa	安全泄放压力	2.0 MPa
最大工作压力	2.5 MPa	设计压力	2.5 MPa	试验压力	3.75 MPa	安全泄放压力	2.0 MPa

注：1. 机组保压期间，油路元件均由客户提供不在本图范围内，保压期间不得进行任何操作。
2. 机组保压期间，油路元件均由客户提供不在本图范围内，保压期间不得进行任何操作。
3. 油路保压期间，油路元件均由客户提供不在本图范围内，保压期间不得进行任何操作。
4. 油路保压期间，油路元件均由客户提供不在本图范围内，保压期间不得进行任何操作。
5. 油路保压期间，油路元件均由客户提供不在本图范围内，保压期间不得进行任何操作。
6. 油路保压期间，油路元件均由客户提供不在本图范围内，保压期间不得进行任何操作。
7. 油路保压期间，油路元件均由客户提供不在本图范围内，保压期间不得进行任何操作。
8. 油路保压期间，油路元件均由客户提供不在本图范围内，保压期间不得进行任何操作。
9. 油路保压期间，油路元件均由客户提供不在本图范围内，保压期间不得进行任何操作。
10. 油路保压期间，油路元件均由客户提供不在本图范围内，保压期间不得进行任何操作。



T18006-1420-MP90-003
F186800004

接口	尺寸	接口形式	作用
A	DN150	SH/T3406 DN150-PN50-WN-RF-SO440-304L	压缩机出口
B	DN65	SH/T3406 DN65-PN50-WN-RF-SO440-304L	排气出口
C	DN65	SH/T3406 DN65-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
D	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
E	DN150	SH/T3406 DN150-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
F	DN100	SH/T3406 DN100-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
G	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
H	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
I	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
J	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
K	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
L	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
M	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
N	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
O	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
P	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
Q	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
R	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
S	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
T	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
U	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
V	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
W	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
X	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
Y	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口
Z	DN50	SH/T3406 DN50-PN50-WN-RF-SO440-304L	冷却器出口

SHENGLI
T18006-1420-MP90-003
F186800004

NO.	REVISION	ISSUE	DATE	BY	CHK	APP
01	REVISED	ISSUE	2023.05.10	XXX	XXX	XXX
02	REVISED	ISSUE	2023.05.10	XXX	XXX	XXX
03	REVISED	ISSUE	2023.05.10	XXX	XXX	XXX
04	REVISED	ISSUE	2023.05.10	XXX	XXX	XXX
05	REVISED	ISSUE	2023.05.10	XXX	XXX	XXX

图1 机组PID流程图

以保持压差稳定,故初步判断该阀门不是供油压差低的主要原因。

2.3 二次回油阀 V026

该阀门位于油分出口侧下部至吸气过滤器入口管路上,作用是将油分离器后段分离下来的润滑油重新压进机组入口,使润滑油循环利用,保证油分离器(油泵入口)的液位,从而保证油泵出口压力。实际运行中,发现机组开停过程中的泄压会导致部分润滑油泄漏到油分离器后段或后系统中,当机组油分离器液位达不到设定值时,油泵入口吸入量不足,会导致油泵出口压力不稳,从而导致供油压差低。现场检查发现在润滑油加油量足够的情况下,该阀门的开关对供油压差基本没有影响,所以判断该阀门不是供油压差低的主要原因。

2.4 喷油阀门 V014

该阀门位于油分离器底部至机组中间部位的管路上,但是该管路不经过油泵、直接为螺杆机喷油(通过压差),为机组螺杆润滑和降温。若该阀门开大,必然导致喷油量增加,导致油分离器液位降低,从而使油泵入口吸入量不够,导致供油压差低。现场检查时发现,在润滑油加油量足够的情况下,开机过程中该阀门打开和关闭对油泵出口压力没有什么影响,所以判断该阀门不是供油压差低的主要原因。

2.5 油泵内置安全阀

该阀门位于油泵内部,当油泵出入口压差超过 5.5bar 时,安全阀起跳。若该安全阀故障或零部件损坏,导致油泵出口压力不足时,也可以导致供油压差低。检查时发现其中一台油泵的安全阀弹簧断裂,更换后恢复正常,但是供油压差仍然不能保证,所以判断该油泵安全阀不是供油压差低的主要原因。

2.6 油泵粗过滤器 STR103/104

现场设置该过滤器的滤芯孔径是 100 目,清洗后可反复使用。若滤网较脏,证明油路中进入杂质,泵入口吸入量会降低,从而影响泵出口压力,影响供油压差。现场拆检过程中发现,过滤器滤芯装卸前后,供油压差变化不大,所以判断该过滤器不是供油压差低的主要原因。

2.7 油泵出口精过滤器 FIL101/102

现场设置该过滤器的滤芯是 10 μ m 的滤布,不

可清洗。现场设置的精过滤器前后有压差报警装置,压差大于 150kPa 会跳车,运行状况好的情况下精过滤器压差在 10 ~ 20kPa 之间。因压缩机供油压力测量点位于精过滤器之后,所以滤网堵塞会导致供油压差降低。现场检查时发现,该过滤器压差增加确实会导致油泵出口供油压力降低或不稳定,但调试过程中更换新的滤芯仍不能保证供油压差稳定,所以判断该过滤器不是导致供油压差低的主要原因。

2.8 油分离器第一过滤器(左侧)

油分离器内竖直的隔板将分离器分隔成前段和后段两部分,该过滤器位于油分离器内部靠近机组排气侧的前段部分。丝网竖直安装,不可拆卸,主要作用是过滤从机组出口进入油分离器的大部分润滑油。若该过滤器堵塞会导致油分离器液位降低,油泵入口吸入量不足,从而导致机组供油压差低。现场检查该过滤器时,用大量的蒸汽和热水进行冲洗,发现过滤器没有堵塞,所以判断该过滤器也不是导致供油压差低的主要原因。

2.9 油分离器第二过滤器(右侧)

该过滤器位于油分离器内部靠近出口侧,该过滤器的作用是将第一过滤器无法从气体中分离的润滑油再次分离,确保润滑油不被气体带到后系统,减少润滑油的损耗。该过滤器是可拆卸式的,若该过滤器堵塞会影响后系统的气压;若该过滤器破损,会造成系统润滑油损耗加快,油分离器液位降低,油泵吸入量不足从而导致供油压差降低。现场检查过程中,在油分离器液位足够的情况下,更换了新的第二过滤器滤芯,油泵出口压力没有明显好转,所以判断该过滤器也不是导致供油压差低的主要原因。

2.10 润滑油管路上的气体

润滑油管路上设置了多个排气阀门,在机组运行过程中,若油路中有气体,则油泵入口吸入量不足,必然会导致供油压差低。实际调试过程中,因油分离器比两台油冷却器高,停机泄压后必然会导致油冷却器中大部分润滑油进入油分离器中,油分离器液位很快升高,有一小部分润滑油会被泄压气体带到后系统中,造成润滑油的损耗。油泵入口位于油管路的低点,油冷却器里面少量的润滑油无法保证油泵入口的吸入量,

从而导致供油压差低。

实际运行开机前，必须先打开油冷却器顶部排气阀，让油分离器的大部分润滑油回到油冷却器当中，这样油分离器的液位会快速下降。将油泵入口的排气阀门反复打开排气，然后再开机才能保证油泵的入口吸入量及出口压力。

2.11 润滑油是否进水乳化

该压缩机油选用的是专用润滑油，黏度约 $60\text{mm}^2/\text{s}$ 。该润滑油具有很好的抗氨性能，含有大量的抗磨损添加剂。润滑油的品质决定了压缩机的持续运行时间，若润滑油进水、或工艺气溶解到润滑油中，黏度会降低，造成油泵出口压力降低。含气的润滑油会导致机组内机封、轴瓦等部件的冷却作用降低，加速机组内部的磨损，从而使机组供油压差降低^[3]。现场发现其中一次供油压差低、连锁跳车故障，确实是润滑油进水乳化造成的。乳化的润滑油黏度降低，导致油泵出口压力降低，整体更换了润滑油以后供油压差稳定。但后期频繁跳车，更换润滑油并没有任何作用，从而排除了润滑油乳化这个因素。

2.12 压缩机机组内间隙超标

随着压缩机的运转，机组内部磨损超过正常范围，会引起润滑油泄漏，导致供油压差降低。变大的间隙可能是：阴阳转子之间的啮合间隙、阴阳转子与气缸之间的间隙、轴承轴瓦与轴之间的间隙、止推轴承的间隙等。当机组长时间运行后，各间隙增大，泄油量增加，从而导致油泵出口压力低于正常值，使供油压差降低^[4]。经过商讨后决定返厂拆检，返厂解体检查发现各部件被严重污染，转子轴径部位存在磨损，超过允许值 0.03mm ，个别位置磨损量超过 0.11mm 。厂家建议修复或更换转子，在经过20天的修复后（激光熔覆），转子和机组被运回公司内进行组装调试，开机启动正常，供油压差稳定在 280kPa 左右。由此可见长时间的运行下，润滑油内进入的杂质确实对主机转子的轴径造成了较大磨损，从而影响供油压差。

2.13 油泵故障

现场使用的是内啮合齿轮泵，经过一段时间的运行，外齿轮和内齿轮的齿顶圆表面、端面、内齿圈外圆与壳体内孔之间配合间隙，牙块内表面与外齿轮齿顶圆配合间隙，侧板与齿轮结合面间隙等等

都会有不同程度的增大，从而使油泵供压能力不足，可能造成供油压差降低。机组设置的两台油泵均是立式泵，实际流量是 $103\text{L}/\text{min}$ ，转速是 $1450\text{r}/\text{min}$ 。现场拆检过程中发现上述间隙均没有明显的增大迹象，基本排除了油泵内部故障这个因素。但是现场观察发现，双泵并联运行明显要好于单泵运行，机组返回厂家拆检前，虽然双泵运行仍不能维持供油压差稳定，但是跳车时间明显延长。主机轴径修复返厂后，单泵运行，供油压差稳定在 280kPa 左右，但是运行一周后再次跳车，跳车后无法再次启动；双泵运行尚能维持压差在 $150\sim 200\text{kPa}$ ，虽然较低，但比较稳定。

这次跳车故障排除了轴径再次磨损的可能性，于是对油泵能力进行了对比核算。经过核算，机组内部需要的供油量为 $110\text{L}/\text{min}$ ，而现场配备的油泵流量则是 $103\text{L}/\text{min}$ ，单台油泵基本能维持机组内部的供油量，但是没有任何余量，所以双泵并联运行时，油泵出口压力明显要好于单泵运行。由此可以判断出机组内部确实存在磨损，但是油泵的流量明显不足是主要因素，考虑更换较大流量的油泵，这样能够保证供油压差的稳定。

3 解决方案

鉴于上述分析，决定对机组进行如下处理：

- (1) 更换推力轴承；
 - (2) 更换径向轴瓦；
 - (3) 对转子进行校验和修复；
 - (4) 对转子做动平衡实验；
 - (5) 对螺杆啮合间隙进行检查；
 - (6) 对机身断面平整度进行修复，并进行圆柱度、光洁度检测；
 - (7) 检查、更换机械密封；
 - (8) 调整装配间隙；
 - (9) 更换一台 $200\text{L}/\text{min}$ 左右的油泵，检修后的机组内部各间隙均控制在设计指标范围内。
- 检修后，满负荷运行，压缩机供油压差维持在 $330\sim 350\text{kPa}$ ，各项参数均正常，供油压差的问题得到了彻底解决。

4 结语

虽然该机组供油压差低的原因已经确定，但是

机组的其他缺陷仍然存在,例如润滑油与介质直接接触导致污染油路,气体介质的含水率较大造成润滑油乳化,跳车后能量位阀门必须降到10%以下才可以开机,停车泄压后油冷却器、油分离器的油乱窜造成管路含气体,机组设置紧凑、没有检修空间,停机泄压置换造成现场污染,润滑油损耗较大等,需要后续慢慢解决。气体介质内的杂质污染油路,会造成机组内间隙增大;工艺介质中杂质及水分的去除需要长时间的摸索和改进,所以应重视设备运行中的各项指标及维护保养。

参考文献:

- [1] 螺杆压缩机使用说明书 [Z].
- [2] 常亮. 氨压机故障分析与整改措施 [J]. 化工管理, 2021(18):197-198.
- [3] 郭忠烈, 费逸伟, 姜旭峰, 等. 润滑油粘度指标分析 [J]. 化工时刊, 2017, 31(5):32-36.
- [4] 吴华根, 唐昊, 王养浩, 等. 间隙对双螺杆制冷压缩机性能的影响 [J]. 西安交通大学学报, 2015, 49(2):130-134.

作者简介: 杨海波(1985.05-), 男, 汉族, 黑龙江哈尔滨人, 本科, 工程师, 研究方向: 螺杆压缩机故障。

严正声明

近期, 本刊编辑部收到作者反映, 一些不法分子盗用我刊名义, 自建非法网站或钓鱼网页 (<http://www.zgjxzz.cn>、<http://mach-china.toug.com.cn> 等), 或以《中国机械》杂志社编辑部“编辑”“责任编辑”等名义, 向广大作者征收稿件, 并收取所谓的“版面费”、“审稿费”等, 严重侵犯、影响了我刊声誉和广大作者的权益。在此, 我刊严正声明如下:

1. 《中国机械》杂志社于1982年创刊, 是国家新闻出版署批准登记的国家级机械工程类学术期刊(旬刊), 目前尚未创建独立的“官方网站”, 浏览本刊电子版需从中国工业新闻网 (<http://www.cinn.cn>) 下方链接进入, 链接地址 http://www.cinn.cn/zgjxzz/index_348.shtml, 或通过万方数据知识服务平台 (<https://www.wanfangdata.com.cn/>) 的官方网站搜索本刊进行查询, 链接地址 <https://sns.wanfangdata.com.cn/period/zgjx> 查询全文;

2. 《中国机械》杂志为旬刊, 请广大作者认准, 凡标记“半月刊”“月刊”的网络征稿平台, 均为非法网站, 欢迎联系本刊编辑部进行举报;

3. 《中国机械》杂志社唯一投稿邮箱: jxzzs@cinn.cn;

4. 《中国机械》杂志社《录用通知书》加盖“中国机械编辑部”公章, 凡加盖“《中国机械》杂志社编辑部”或使用已作废公章(防伪码为1101081749266的总编室公章、防伪码为1101081491290的原编辑部公章), 均为假冒录用通知书;

5. 《中国机械》杂志社从未委托任何机构、网站或个人代理本刊的组稿、审稿等相关事宜, 编辑部一直严格遵守“三审三校”规定, 追求杂志整体质量的提升, 将期刊的社会效益放在首位, 对于盗用《中国机械》杂志社名义发布虚假信息、实施非法征稿等行为, 本刊将依法追究其法律责任;

6. 本刊编辑部唯一联系电话: 010-67410664。

敬请广大作者和读者注意辨别, 提高警惕, 谨防上当!

《中国机械》杂志社
2022年5月