

林济猷 编著

液压油概论

3
煤炭工业出版社

87
TE626.3
16
3

液 压 油 概 论

林济猷 编著

煤炭工业出版社



B

317496

内 容 提 要

本书概述了有关液压油的理论,提出了对液压油的技术要求及其测试方法。书中着重阐述了液压油在矿井条件下使用的种种问题和因此对它提出的特殊要求。书末附有有关的技术资料。本书既适于现场技术人员使用,也可作为高校教学参考书。

责任编辑:殷永龄 向云霞

液 压 油 概 论

林济猷 编著

煤炭工业出版社 出版

(北京安业门外和平门北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $12^{1/4}$ 插页 3

字数328千字 印数1—3,200

1986年1月第1版 1986年1月第1次印刷

书号15035·2705 定价2.70元

序 言

随着我国工业的迅猛发展，液压技术越来越广泛地应用到许多行业和领域之中。国产的和进口的液压设备也日益增多，液压油的种类不断增加，分类更加细致。加之液压油是液压设备的“血液”，对使用好设备影响很大，因此掌握液压油的性能、使用方法、管理方法等就成为液压技术人员的紧迫任务。为此，编写了这本书。

本书除了简要系统地介绍了对各种液压油的一般要求，它们的组成、性能、使用方法、管理方法等外，还介绍了煤矿井下机械液压系统用的液压液——乳化液的组成和性能等。

本书是作者根据本人科研工作的经验，和对若干矿山、工厂、炼油厂和有关科研机构进行调查的结果，并参考了若干进口机械的技术文件，和有关资料编写成的。

中国煤炭科学研究院上海研究所的陈庆臻和中国石油科学研究院的闫邱堤均两位同志对此书提出了许多宝贵意见，并提供了部份有关资料，在此表示感谢！

对此书的缺点和错误，欢迎读者批评、指正！

目 录

第一章	液压设备对液压液的要求	1
第二章	液压液的物理、化学性能及其测试方法	7
§ 2-1	比重或密度	7
§ 2-2	颜色	8
§ 2-3	粘度	9
§ 2-4	粘温特性和粘度指数	12
§ 2-5	水分	18
§ 2-6	机械杂质	18
§ 2-7	酸值	20
§ 2-8	水溶性酸、碱	21
§ 2-9	腐蚀性	22
§ 2-10	闪点和燃点	23
§ 2-11	凝点或倾点	23
* § 2-12	残炭	24
* § 2-13	压缩系数, 体积弹性模数	24
* § 2-14	比热	25
* § 2-15	导热系数和热膨胀系数	25
§ 2-16	臭味和毒性	25
第三章	液压油的使用性能及测试方法	26
§ 3-1	抗氧化性	26
§ 3-2	防锈性	28
§ 3-3	抗磨性	30
§ 3-4	抗泡性和放气性	43
§ 3-5	抗乳化性	44
§ 3-6	水解安定性	45
§ 3-7	热安定性	46
§ 3-8	抗剪切性 (剪切安定性)	46

§ 3-9 液压油对合成橡胶的适应性和苯胺点	48
§ 3-10 抗燃性	49
* § 3-11 液压油的其他性能	51
* § 3-12 液压油的主要性能总结	52
第四章 液压油的基础油	57
§ 4-1 润滑油原料的组成	57
§ 4-2 润滑油的理想成分和非理想成分	69
§ 4-3 基础油的生产过程	70
* § 4-4 基础油的化学组成对液压油性质的影响	76
第五章 液压油的添加剂及其作用机理	79
§ 5-1 概述	79
§ 5-2 抗氧化剂	80
§ 5-3 防锈剂	90
§ 5-4 耐负荷剂	98
§ 5-5 抗泡剂	109
§ 5-6 增粘剂	113
§ 5-7 降凝剂	116
§ 5-8 乳化剂和抗乳化剂	119
§ 5-9 清净分散剂	128
§ 5-10 多效添加剂	130
* § 5-11 液压油添加剂总结	131
第六章 液压液的分类	134
§ 6-1 几种分类法	134
§ 6-2 常用的综合分类法	136
§ 6-3 国际标准化组织 (ISO) 和其他国家的分类法	145
* § 6-4 各国液压液规格的名称和号码	147
第七章 几种常用液压油	150
§ 7-1 矿油型液压油的优缺点	150
§ 7-2 机械油	151
§ 7-3 汽轮机油	151
§ 7-4 普通液压油	157
* § 7-5 液压-导轨油	164

* § 7-6	清净液压油	166
第八章	抗磨液压油	169
§ 8-1	抗磨液压油的分类	169
§ 8-2	锌型与无灰型抗磨液压油的性能比较	171
§ 8-3	抗磨液压油的规格	175
§ 8-4	液压-齿轮多用油	179
§ 8-5	加清净分散剂的抗磨液压油	192
§ 8-6	抗磨液压油的发展方向	195
第九章	低温液压油及其他高粘度指数液压油	196
§ 9-1	低温液压油	196
§ 9-2	国际标准化组织制定的低温液压油规格	200
§ 9-3	国外的一些低温液压油	200
* § 9-4	矿油型航空液压油	201
* § 9-5	数控液压油	206
第十章	液力(传动)油	210
§ 10-1	液力传动的特点和对液力(传动)油的要求	210
§ 10-2	液力油的分类	212
§ 10-3	一些外国液力油的规格	212
§ 10-4	我国液力油的规格	220
第十一章	抗燃液压液及其他液压液	223
§ 11-1	抗燃液压液的分类	223
§ 11-2	水包油乳化液与高含水液压液	225
§ 11-3	油包水乳化液	236
§ 11-4	水-乙二醇液压液	244
§ 11-5	磷酸酯	247
* § 11-6	聚醚和聚苯醚	250
* § 11-7	脂肪酸酯	254
* § 11-8	卤代烃	255
* § 11-9	硅酸酯和硅油	257
* § 11-10	高温液压液与航空液压液	258
§ 11-11	抗燃液压液的ISO分类和粘度等级	260
§ 11-12	矿油型液压油与各种抗燃液压液的性能比较	261

* § 11-13 其他液压液	261
第十二章 液压液的选择	269
§ 12-1 选择液压液应考虑的因素	269
§ 12-2 矿油型液压油的选择	272
§ 12-3 抗燃液压液的选择	273
§ 12-4 液压液粘度的选择	279
§ 12-5 液压液的具体选定	291
第十三章 液压液的使用、管理和更换	295
§ 13-1 液压设备的故障与液压液的关系	295
§ 13-2 液压液在注入液压设备前的管理	298
§ 13-3 矿油型液压油的使用管理	301
§ 13-4 矿油型液压油的更换	320
§ 13-5 抗燃液压液的使用管理	329
§ 13-6 抗燃液压液的更换	333
§ 13-7 液压液的污染管理	334
第十四章 液压液的贮运、管理和废油再生	345
§ 14-1 液压液贮运、管理的重要性	345
§ 14-2 液压液的质量管理	345
§ 14-3 液压液的安全管理	348
§ 14-4 液压液的简易识别方法	352
§ 14-5 废液压油的回收和再生	354
附录一 中外液压液旧牌号对照表	359
附录二 关于橡胶密封材料	374
附录三 关于防锈性试验	378
附录四 各种粘度的换算	379
附录五 一些量的单位换算系数	382
参考文献	384

第一章 液压设备对液压液的要求

在生产实际中，必须对能量进行控制、转换和传递。传递能量的方式很多，总起来说可分为四大类：机械传动，电力传动，气压传动（风动），液压传动。

由于液压传动具有许多优点，所以应用越来越广泛。除了机床，冶金机械，汽车，船舶，农业机械，建筑、工程机械，石油、化工机械，航空、宇航机械之外，许多矿山机械，例如采煤机、掘进机、装载机、挖掘机、凿岩机、钻车等都采用了液压传动。

在液压传动中传递能量的介质就是液压液。液压液在液压设备中起着许多重要作用：传递能量；润滑机器，减少机器的摩擦和磨损；防止机器生锈和受腐蚀；对液压设备内的一些间隙〔例如轴向柱塞泵中缸体与配流（油）盘的间隙，柱塞与缸体的间隙等〕起密封作用；把由于摩擦、搅拌、压缩而产生的热量带走，使液压元件冷却；把由于磨损和腐蚀而产生的金属粉末、密封材料粉屑、油泥等污染物质，从液压元件中冲洗掉，以免增加液压元件的磨损，堵塞液压元件的小孔和间隙。

如果说油泵（主油泵）是整个液压系统的核心的话，那么液压液就是整个液压系统的血液，它对整个液压系统有很大的影响。即使是一台设计先进、制造精度很高的液压设备，如果不能正确地选择和使用液压液，那就不能充分发挥设备的效率，甚至还会造成严重事故，使设备损坏或缩短设备的使用寿命。据国外统计，液压系统的故障约有70%是由于液压液方面的原因（例如液压液选择不当，使用、维护、管理不当等）引起的。在液压技术不断发展，液压液的品种越来越多，液压液的组成越来越复杂的情况下，正确地选择、使用、维护和管理液压液，就显得更为重要了。

液压系统能否可靠、有效而且经济地工作，在相当程度上取决

于液压液的性能。矿井井下有粉尘、瓦斯、水,空气潮湿,工作条件比较差;露天矿也有粉尘,还要受风吹、雨淋、日晒,一年四季温度变化较大,有的地区早晚温差很大。因此,对液压液有下列要求:

(1) 要有合适的粘度,而且粘度随温度的变化要小 粘度是液压液很重要的性能,选择液压液时,它是首先需要考虑的因素之一。粘度的选择主要取决于油泵的类型、工作压力、使用温度以及环境温度等,此外还取决于其他液压元件的要求。粘度过高或过低都不利,因为粘度过高时,①油泵吸油阻力增加,容易产生空穴和气蚀作用,使油泵工作困难,甚至受到损坏;②油泵的能量损失增大,机器总效率降低;③管路中压力损失增大,这也会使机器的总效率降低;④阀和油缸的敏感性降低,工作不够灵活。

当粘度过低时,①油泵的内泄漏增多,容积效率降低;②管路接头处的泄漏增多;③控制阀的内泄漏增多,控制性能下降;④润滑油膜变薄,油品对机器滑动部位的润滑性能降低,因而造成磨损增加,甚至发生烧结。

在不同地区、不同的季节中,以及在机器启动前后和正常运转的过程中,液压液的温度都会发生变化。随着液温的升高,液压液的粘度就会下降,因此,为了使液压系统能正常、稳定地工作,液压液的粘度随温度的变化就要小,也就是说油温即使变到最大或最小时,液压液的粘度仍然变化不太大,仍能较好地满足液压系统的要求。

(2) 要有良好的防止金属材料生锈、腐蚀的性能 液压元件是由各种金属材料制成的。由于水分和氧(油中所含的和空气中所含的氧)的作用,液压元件会发生锈蚀。液压液和其中的添加剂发生氧化、水解等化学反应后,也会产生腐蚀性物质。液压元件的生锈、腐蚀会严重地影响液压系统的正常工作和寿命。金属粒子、锈粒子和金属盐都能加速油品的氧化,并且随着油品循环,还会加速液压元件的磨损。在矿山井下工作的机器,由于机

器本身的呼吸作用，潮湿空气不可避免地要进入油箱内，其中所含水分在机器停止运转、温度下降时，必然会在油箱内凝结成水珠而附在油箱内壁上和进入液压液中。如果冷却器漏水或油箱密封不好，还会发生油箱大量进水的事故。因此，矿山机械对液压液的防锈蚀性能要求很高。

（3）要有良好的抗氧化性 液压设备工作时，液压液不可避免地要与液压液内部的和空气中的氧接触而被氧化，使液压液变质。尤其是当温度和压力增高时，氧化速度就更快。氧化的结果一般表现为颜色变深，酸值增高（加有某些酸值高的添加剂的液压油，由于该添加剂被氧化而消耗掉，在氧化的前一阶段中酸值是下降的，到后一阶段中随着液压液氧化产生的酸性物质的增多，酸值才逐渐增高），生成沉淀物，粘度发生变化等。氧化反应的速度、深度，与液压液的化学组成，工作温度和压力，液压液与氧混合的程度，金属催化剂的存在等因素有关。液压液氧化后所产生的酸性物质会增强对金属的腐蚀性，所产生的粘稠的油泥沉淀物会堵塞过滤器和其他液压元件的孔隙，妨碍控制机构的工作，降低效率，增加磨损。氧化严重的液压液，许多性能都大为下降，以致必须更换。因此，液压液的抗氧化性越好，液压液的使用寿命就越长。

（4）要有良好的抗乳化性 前面说过，矿山井下液压设备的液压油中混进水珠是不可避免的。进入油箱内的水，受到油泵、马达等液压元件的剧烈搅动后，容易分散于液压油中，形成乳化液，并进入整个液压系统。一般说来，受到污染的使用时间较长的液压油，比新的干净的液压油更易形成乳化液。这种含有灰尘、金属粒子及其他脏东西的乳化液，又会加速液压油的变质，生成沉淀物，妨碍冷却器的传热，堵塞过滤器、管道、阀门等液压元件的孔隙，并且降低液压油的润滑性。因此，井下液压设备要求液压油有良好的抗乳化性，即是说液压油能较快地与水分分离开来，使水沉到油箱底部，然后定期排出，避免形成稳定的乳化液。

(5) 要有良好的抗磨性 (润滑性) 在液压设备运转时, 总要产生摩擦和磨损, 尤其是在机器启动和停止时, 摩擦力最大, 更易引起磨损。因此液压液要对各种液压元件起润滑作用, 以减少磨损。工作压力高的液压系统, 对液压液的抗磨性的要求就更高。

(6) 要有良好的抗泡性 在液压设备运转时, 由于下列原因而使得液压液会产生气泡: ①在油箱内液压液与空气一起受到剧烈搅动; ②油箱内油面过低, 油泵吸油时把一部分空气也吸进泵里去; ③因为空气在油中的溶解度是随压力而增加的, 所以在高压区域, 油中溶解的空气较多 (例如在25℃、一个大气压下, 油品可溶解5~10%体积的空气, 当压力增到150巴时, 空气的溶解度可增到150倍), 当高压油通过控制阀、液压马达 (或油缸) 等元件又回到油箱中时, 压力不断降低, 在泵的吸油管内, 压力还会进一步降低。当压力降低时, 空气在油中的溶解度也随之降低, 油中原来溶解的空气就会析出一部分来, 因而产生气泡。此外, 压力越低, 油品的沸点就越低, 油品也越易蒸发。当压力等于或小于油品在该温度下的饱和蒸气压时, 油品就会沸腾, 迅速气化, 这是产生气泡的另一个原因。

液压油中混有气泡是很有害的: ①气泡很容易被压缩 (空气的压缩系数约为油品的1000倍), 因而会导致液压系统的压力下降, 能量传递不稳定、不可靠、不准确, 产生振动和噪音, 液压系统的工作不规律; ②容易产生气蚀作用。当气泡受到油泵的高压时, 气泡中的气体就会溶于油中 (因为空气在油中的溶解度显著增大, 同时油的蒸气也会凝成油液), 这时气泡所在的区域就变成局部真空, 周围的油液会以极高的速度来填补这些真空区域, 形成冲击压力和冲击波, 这种冲击压力据计算可高达几百甚至上千个大气压, 这就是空穴作用^①。如果这种冲击压力和冲

① 在理论上计算空穴作用产生的冲击压力时可用下列公式^[61]: 在比重为 d 、压力为 P_1 的液体中, 假设有一个圆形空穴被压缩, 在时间 t 内, 空穴的半径从 R_1 压缩到 R_2 , 设这时产生的冲击压力为 P_2 , 重力加速度为 g , 则,

$$P_2 = \frac{0.815}{t} \sqrt{\frac{P_1 d R_1^3}{g R_2}}$$

击波作用于固体壁面上，就会产生气蚀作用，使机器损坏；③气泡在油泵中受到迅速压缩（绝热压缩）时，会产生局部高温（据计算可高达几百到一千度），促使油品蒸发、热分解和氧化，使油品变质、变黑（有人认为液压油的变黑是由于在气泡中的油品蒸气与氧气的混合物，在高温高压下发生不完全燃烧，产生炭粒的原故⁽¹⁹⁾）。

因此，液压油应有良好的抗泡性，即在液压设备运转过程中，产生的气泡要少，更重要的是所产生的气泡要能很快破灭，以免与液压油一起被油泵吸进液压系统中去。

（7）要有较好的抗剪切性 液压液经过泵、阀等元件，尤其是通过各种液压元件的小孔、缝隙时，要经受剧烈的剪切作用，在剪切力的作用下，液压液中的一些大分子（例如：增粘剂的大分子）就会发生断裂，变成较小的分子，使液压液的粘度降低。当粘度降低到一定限度时，该液压液就不能继续使用了，因此，液压液要具有较好的抗剪切性。

（8）液压液的清净性要好 清净性好，即所含的固体杂质少。液压液易受污染，污染的原因很多，例如空气中的灰尘，零件加工时残留下来的金属碎屑、粉末，铸件的残砂，磨碎的纤维，液压液本身的添加剂由于化学反应而产生的固体沉淀物等。液压液中的固体杂质是有害的：①易堵塞过滤器孔隙，使油泵供油不足，因而产生气蚀、振动和噪音；②使滑动部位动作困难，影响动作的可靠性和准确性（例如同服机构）；③使滑动部位加速磨损。因此，要求液压液的清净性要好。

（9）对密封材料的影响要小 密封元件的作用是防止液压液的泄漏，确保液压液在加压的条件下仍能继续在密封的液压系统中流动和传递能量。液压液对密封材料可能有下列影响：①使密封材料产生溶胀、软化；②使密封材料硬化。这两者都会使密封材料失去密封性能。不同种类的液压液对同一密封材料的影响是不同的，例如：矿油型液压油对丁腈橡胶的影响较小，但磷酸酯型抗燃液压液对丁腈橡胶的影响就很大。因此，液压液与密封

材料必须互相适应，相互影响要小。

液压设备对液压液的要求，除了以上几点外，露天使用的液压设备还要求液压液的凝点要低，在露天环境的最低温度下仍然具有一定的流动性，以便设备能够正常启动和工作。与明火或高温热源接触，有可能发生火灾的液压设备，以及需要预防瓦斯、煤尘爆炸的煤矿井下的某些液压设备，还要求液压液有良好的抗燃性。对于乳化型的抗燃液压液，还要求乳化稳定性要好，即乳化液不易分层，等等。

第二章 液压液的物理、化学性能及其测试方法

液压液的物理、化学性能常用的项目是：比重或密度、颜色、粘度、粘温特性、水分、机械杂质、酸值、水溶性酸或碱、抗腐蚀性、闪点和燃点、凝点或倾点。不太常用的项目是：残炭、压缩系数、比热、导热系数、臭味和毒性等。这些项目是选择液压油的依据，其中一些项目也是判断液压液变质程度的依据。

§ 2-1 比重或密度

密度 (ρ) 是单位体积内所含物质的质量，克/厘米³或克/毫升。物质的密度与温度有关，绝大多数物质的密度都是随着温度的降低而增大的。

比重是物质的重量与同体积的纯水的重量之比。液压液的比重通常采用20℃时液压液的重量与4℃时纯水的重量之比，可简写为 d_{40}^{20} 。比重是没有单位的。因为4℃时水的密度为1克/厘米³，所以液压液的 d_{40}^{20} 在数值上也就等于20℃时液压液的密度(ρ_{20})。密度与比重在数值上虽然相等，但是含义不同，单位也不同。

从 ρ_{20} 换算为 ρ_t (t 为任意温度) 的公式如下： $\rho_t = \rho_{20} - \gamma (t - 20)$

式中 γ 为平均密度温度系数，克/厘米³/C°。 γ 的值随油品比重而变化，在不同的密度范围内，可采用不同的平均值：

ρ_{20}	0.66~0.73	0.73~0.79	0.79~0.87	0.87~0.95
$\gamma(\text{平均})$	0.0009	0.0008	0.0007	0.0006

§ 2-2 颜 色

液压油的顏色可显示油的精制深度。一般地说，精制深度越深，颜色就越浅。在使用过程中，随着液压油的氧化、变质，油的颜色就会变深（因为产生了胶质、沥青质等深色物质）。液压油受到金属粉末、密封材料粉屑、煤粉、岩粉等物质的污染时，颜色也会变深，透明度降低。如果液压油中分散着水滴（乳化）或气泡，则颜色呈乳浊状，透明度也降低。为了便于辨别，有的液压油中还加有染料，把油染成某种颜色。

液压油颜色常用比色计按石油部标准方法（SYB2614）来测定。测定方法大致如下：以一定高度、一定浓度的碘溶液作为标准液，或以标准玻璃色板作为标准，把液压油跟它进行比色，测定与标准颜色色度一致的油柱高度（毫米）。油柱高度越小则颜色越深。

国际上常用美国材料试验学会制定的 ASTM 颜色等级，把颜色从浅到深分为 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, ……8.0 等共 16 级，每一级都备有标准玻璃色板以供使用。测定的允许误差为不得大于 0.5 级。

有的国家（例如日本等）则常用尤尼恩（Union）比色计来测定油品的颜色，其方法大致如下：把少量试油加入试验管内，把试验管放入该比色计中，在人为的白色光线透射下，在比色计中把试油的颜色与标准玻璃色板的颜色进行比较，判定试油的颜色等级〔58〕。

尤 尼 恩 颜色等级	1	$1\frac{1}{2}$	2	3	$3\frac{1}{2}$	4	$4\frac{1}{2}$	5
颜 色	白色， 百合花颜色	奶油色	微带淡 黄色	柠檬色	淡橙色	橙色	橙红 色	淡红 色

尤 尼 恩 颜色等级	6	7	8	A	D	E
颜 色	暗红色	葡萄酒 色	—	微带淡色气 缸油的颜色	淡色气缸油 的颜色	中等气缸油 的颜色

§ 2-3 粘 度

液体流动时，由于液体分子间的相互作用，就产生阻碍流体流动的力，这个力叫做内摩擦力。液体的粘度就是衡量这种内摩擦力大小的一个物理量。液体粘度的大小通常可用动力粘度、运动粘度、相对粘度三种表示方法来表示。

1. 动力粘度（绝对粘度）

当液体流动时，相邻各液层的运动速度往往不相同，因而在相邻液层之间存在着相对运动，这时各液层间的摩擦力用 F 表示。

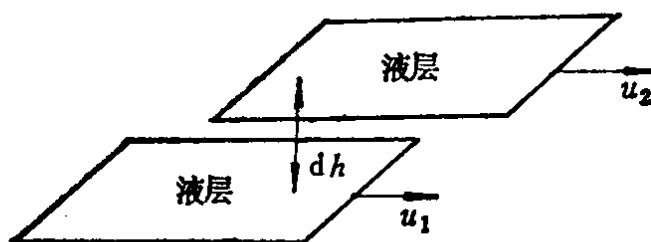


图 2-1 液体粘度计算示意图

F (达因) 与液层面积 A (厘米²) 成正比，与两个相邻液层的速度差 du (厘米/秒) 成正比，与相邻两液层的距离 dh (厘米) 成反比。据此可得出下列公式：

$$F = \eta A \frac{du}{dh}$$

η 是比例常数，叫做流体动力粘度（或流体动力粘性系数）。在相同温度下，不同的液体具有不同的动力粘度。从这个公式中可看出，各种液体的粘度 η 是与各种液体的流动阻力 F 成正比的。

在上述公式中，当 $A = 1$ 厘米²， $du = 1$ 厘米/秒， $dh = 1$ 厘米，而且两个相邻液层间的阻力 $F = 1$ 达因（即 $\frac{1}{981}$ 克力）时，则 $\eta =$

1 泊，泊是动力粘度的单位，等于克/厘米·秒。在实际应用中，