

新型干法水泥厂 设备润滑手册

XINXING GANFA SHUINICHANG
SHEBEI RUNHUA SHOUCHE

熊会思 熊然 编著



化学工业出版社

新型干法水泥厂设备润滑手册

熊会思 熊然 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书全面介绍润滑油的基础知识，水泥厂设备给油方式选择，烧成窑尾预热器及分解炉系统润滑，水泥厂烧成回转窑的润滑设计，预均化、粉磨系统设备的润滑，收尘、输送、散装及袋装设备的润滑，润滑管理等。

本书可供水泥生产企业的设备工程师及管理人员阅读，也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

新型干法水泥厂设备润滑手册/熊会思，熊然编著.
北京：化学工业出版社，2012.11
ISBN 978-7-122-15363-0

I. ①新… II. ①熊…②熊… III. ①水泥-干法-
化工设备-润滑-技术手册 IV. ①TQ172.6-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 221970 号

责任编辑：吕佳丽
责任校对：蒋宇

装帧设计：韩飞

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）
印刷：北京永鑫印刷有限责任公司
装订：三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张21¼ 字数539千字 2013年11月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：85.00 元

版权所有 违者必究

前 言

我国水泥工业在改革开放后 30 年得到飞速发展，水泥产量从 1985 年起已连续 27 年居世界第一位，2011 年水泥产量 20.9 亿吨，占世界总产量的 50% 以上。新型干法水泥产量，在 2011 年底达到 18.81 亿吨，占我国水泥产量的 90%，通过结构调查，每年增加 12%。

随着我国水泥工业的飞速发展，我国水泥设备润滑及维护管理技术也要相应高速发展，本书对水泥设备润滑管理进行了全面的介绍。对润滑设备合理地设计、制造、使用与管理；润滑剂的生产；润滑剂的使用与管理；报废润滑剂的处理与再利用进行详细的说明。

近年来，水泥行业设备润滑及维护管理技术交流会、水泥厂设备润滑管理培训班，以及《合理润滑技术通则》（GB/T 13608—2008）国家标准修订审定会议，都强调为适应新型干法水泥生产工艺技术的发展，其设备必须实行全优润滑，全员参与，以及设备润滑要全过程优化，并对设备建立“自监控、自养护、自修复、自补偿、自适应、自优化”的仿生机能和健康机制。

本书可供水泥生产企业的设备工程师及管理人员阅读，也可作为高等院校相关专业师生的参考书。

编者

2013 年 5 月

目 录

1 概论	1
2 基础知识	2
2.1 概述	2
2.2 常用润滑油的现状	2
2.3 润滑的作用	3
2.4 水泥厂常用润滑剂的特性	4
2.4.1 润滑油的主要理化指标和意义	4
2.4.2 润滑脂的组成	9
2.4.3 润滑脂的主要理化指标	10
2.5 润滑剂中的添加剂	11
2.5.1 添加剂的作用	11
2.5.2 添加剂性能要求	12
2.5.3 添加剂类型与功能	12
2.6 水泥厂常用的润滑油	15
2.6.1 液压油	15
2.6.2 极压工业齿轮油	23
2.6.3 压缩机油	35
2.6.4 柴油机油	40
2.6.5 轴承润滑剂	46
2.7 水泥厂常用的润滑脂	48
2.7.1 轴承用润滑脂应具有理化特性	48
2.7.2 辊压机用润滑脂	50
2.7.3 水泥厂开式齿轮润滑脂	51
2.7.4 不同润滑脂的混合和兼容性	52
2.7.5 润滑脂稠度的测定和分级	53
2.8 水泥厂设备选用的润滑剂	54
2.9 水泥厂设备管理中的油品监测	61
2.9.1 水泥厂油品监测的主要项目及目的	61
2.9.2 水泥厂油液监测的步骤	63
2.9.3 水泥厂关键设备润滑的监控标准	63
2.9.4 链传动及平面滑动导向装置润滑制度	69
2.9.5 润滑设施与维护	70
2.9.6 润滑油更换	70
2.10 润滑油常见问题	71
3 水泥厂设备给油方式选择	92
3.1 润滑油给油方式	93

3.1.1	手工给油 (HO)	93
3.1.2	滴油润滑 (DL)	93
3.1.3	浴油润滑 (OB)	93
3.1.4	循环压力给油润滑 (CL)	97
3.1.5	喷雾式润滑 (SL)	103
3.1.6	喷射式润滑 (AS)	104
3.1.7	链条传动润滑	105
3.1.8	平面滑动导向装置润滑	105
3.1.9	钢丝绳润滑	106
3.2	润滑脂给油方式	106
3.2.1	手涂润滑脂 (GP)	107
3.2.2	装填润滑脂 (GE)	107
3.2.3	油杯 (GC) 和油枪 (GG) 润滑	108
3.2.4	润滑脂块润滑	110
4	烧成窑尾预热器及分解炉系统润滑	111
4.1	预热器及分解炉润滑	111
4.2	电动流量控制阀润滑	111
4.3	分料溜槽润滑	112
4.4	转子称润滑	113
4.5	窑尾预热器分解炉喷煤管润滑	114
4.6	窑头喷煤管润滑	115
4.7	篦式冷却机润滑	115
4.7.1	第三代 1kN 往复推动篦式冷却机润滑	115
4.7.2	成都建材院有限公司装备技术公司的第四代 S 篦式冷却机润滑	136
4.8	三次风管阀门润滑	137
4.9	窑头窑尾高温排风机润滑	137
4.9.1	滑动轴承润滑	138
4.9.2	大型风机滚动轴承润滑	138
4.9.3	液力耦合器润滑	139
4.10	离心通风机润滑	140
5	水泥厂烧成回转窑的润滑设计	142
5.1	回转窑主减速机及辅助减速机润滑	143
5.1.1	我国工业齿轮油的应用概况	143
5.1.2	渐开线圆柱齿轮和锥齿轮润滑油黏度的选择	144
5.1.3	减速机内润滑故障分析	148
5.1.4	齿轮损伤的原因及其预防措施	149
5.2	回转窑开式齿轮设计及润滑	150
5.2.1	开式齿轮的设计特点	150
5.2.2	安装回转窑开式齿轮传动	152
5.2.3	回转窑开式齿轮传动润滑	152
5.2.4	自动喷雾润滑系统在大型回转设备开式齿轮的应用	154

5.2.5	新开式齿轮传动首次润滑	158
5.2.6	开式齿轮传动装置润滑方式	160
5.2.7	开式齿轮喷雾润滑方式	161
5.2.8	正常运转喷雾润滑方式	168
5.2.9	修理润滑	173
5.2.10	轮齿工作面状态的资料	174
5.2.11	检查齿圈传动装置的运转状态	179
5.2.12	大型回转窑开式传动润滑的实例	180
5.2.13	壳牌喷雾润滑系统	184
5.2.14	开式齿轮喷雾润滑小结	187
5.3	回转窑托轮轴承的设计及润滑	188
5.3.1	托轮轴承设计	188
5.3.2	托轮轴承用润滑剂牌号的选择	190
5.3.3	托轮轴承润滑设计	192
5.3.4	托轮轴承漏油的原因分析和处理办法	197
5.4	挡轮、小齿轮、窑头罩滚动轴承润滑	199
5.5	液压挡轮装置及液压油站设计	201
5.6	回转窑托轮、挡轮和轮带的接触面润滑	203
5.6.1	接触面润滑的原因	203
5.6.2	托轮和轮带的接触面不用油或润滑脂润滑的原因	203
5.7	回轮窑轮带与筒体垫板间的润滑	204
5.7.1	窑轮带在筒体上产生错动时的处理方法	204
5.7.2	回转窑轮带与筒体垫板间润滑举例	205
5.7.3	活套轮带与筒体垫板间自动喷润滑油润滑	206
5.7.4	石墨在回转窑轮带上的应用	208
5.8	窑尾气缸压紧端面接触式密封装置润滑	210
5.8.1	递进式集中润滑系统	211
5.8.2	典型递进式集中润滑系统	212
5.8.3	递进式集中润滑系统设备	214
5.9	联轴器、离合器及电动推拉杆润滑	217
5.9.1	联轴器润滑剂牌号选择	217
5.9.2	离合器润滑剂牌号选择	217
5.9.3	电动推拉杆润滑剂代号选择	218
6	预均化、粉磨系统设备的润滑	219
6.1	石灰石矿山设备润滑系统	219
6.1.1	潜孔钻机润滑	219
6.1.2	履带装载机润滑	220
6.1.3	液压碎石机润滑	221
6.1.4	扇形闸门润滑	222
6.2	原料破碎、预均化设备的润滑系统	223
6.2.1	单段锤式破碎机润滑系统	223

6.2.2	预均化设备润滑系统	225
6.3	粉磨系统设备润滑系统	233
6.3.1	立式辊式磨机润滑系统	233
6.3.2	辊压机润滑系统	253
6.3.3	中小型球磨机润滑	266
6.3.4	大型滑履球磨机润滑系统	274
6.3.5	黏土辊式破碎机润滑	284
6.3.6	自动计量喂料称润滑	284
6.3.7	电机振动给料机润滑	287
6.3.8	圆盘给料机润滑	287
6.3.9	带式电磁除铁器润滑	288
6.3.10	进料锁风阀润滑	289
6.3.11	旋风式选粉机润滑	290
6.3.12	O-Sepa 选粉机润滑	291
6.3.13	VSK 选粉机润滑	291
7	收尘、输送、散装及袋装设备的润滑	293
7.1	收尘系统设备润滑系统	293
7.1.1	增湿塔设备润滑	293
7.1.2	喷吹式脉冲袋收尘润滑	294
7.1.3	气箱式脉冲袋收尘润滑	295
7.1.4	窑尾负压袋收尘润滑	295
7.1.5	电收尘润滑	297
7.1.6	电袋混合收尘器润滑	297
7.1.7	锅炉引风机润滑	299
7.1.8	离心风机润滑	299
7.2	输送设备润滑	300
7.2.1	胶带机润滑	300
7.2.2	拉链机润滑	302
7.2.3	螺旋输送机润滑	302
7.2.4	空气输送斜槽系统润滑	302
7.2.5	重型板式给料机润滑	308
7.2.6	链斗输送机润滑	309
7.2.7	链斗提升机润滑	310
7.2.8	钢绳胶带提升机润滑	310
7.3	散装及袋装设备润滑	311
7.3.1	气动双嘴仓库卸料器润滑	311
7.3.2	普通库侧卸料器润滑	312
7.3.3	固体流量计润滑	312
7.3.4	单轴配料混合机润滑	312
7.3.5	空气压缩机润滑	314
7.3.6	火车散装水泥罐车润滑	315

7.3.7	汽车散装水泥车润滑	316
7.3.8	固定式包装机润滑	317
7.3.9	14 嘴回转式包装机润滑	317
7.3.10	回转包装机润滑	317
7.3.11	回转包装机流程设备润滑系统	319
7.3.12	火车、汽车折叠胶带装车机润滑	320
8	润滑管理	323
8.1	润滑管理的目的	323
8.2	润滑管理的主要内容	323
8.3	润滑油脂的入库检验、运输、贮存和发放	324
8.3.1	润滑油脂入库检验	324
8.3.2	润滑剂运输	324
8.3.3	贮存	325
8.4	润滑剂的发放	327
8.5	润滑剂分配	328
8.6	润滑剂的消耗量	328
8.7	新型干法水泥厂生产设备的润滑管理	328
8.7.1	设备润滑规范管理的内容	328
8.7.2	润滑油的选择与保管	328
8.7.3	润滑时应注意的问题	329
8.7.4	做好设备润滑管理以提高综合效益	330
8.7.5	水泥厂应建立润滑油库	330
8.8	废润滑油再生	331
8.8.1	收集和贮存	331
8.8.2	废润滑油再生	331
8.9	润滑油再生利用技术实例	333
8.9.1	水泥企业常用的润滑油	333
8.9.2	用油理念	334
8.9.3	废油再生设备	334
8.10	安全、健康、环保的要求	336
	参考文献	337

1 概 论

过去,我国湿法水泥厂多沿用前苏联水泥厂的设备润滑油管理规程。在新中国成立后 20 多年来,立窑、湿法窑水泥厂多沿用过去的润滑油管理规程,形成不论在什么工况下,一律使用机械油,使机械油变成万能用油的情况。

近 30 年来,润滑技术发生了划时代的变化,添加剂得到不断完善,添加剂的复配技术不断成熟,使润滑机理发生了质的变化。表现在润滑油不再单靠油的黏度,而主要靠化学反应膜;润滑油对啮合表面的附着,不再单靠物理吸附,而主要靠化学吸附,化学吸附的强度比物理吸附的强度高 5~10 倍;润滑油添加剂复配技术的应用,可以在最需要润滑的部位生成反应膜,有效地保护啮合表面。分子设计的理论与实践,让具有不同功能的基团优势互补,合理组合,使一种添加剂同时能满足几种不同的要求,使润滑油高性能化。

与此同时,我国新型干法水泥生产线得到发展。从 20 世纪 80 年代开始,我国逐渐从日本、丹麦、德国引进了大型新型干法水泥厂生产线。这些水泥设备制造商,一般都提供设备润滑表,多数采用中高档掺有抗氧化、防锈、极压剂的高性能的润滑剂。开始时,国内找不到相应的润滑油代用,对于一些重要的大型设备,如大型磨机减速机用润滑油、辊压机主轴承用润滑脂,不得不从国外大量进口,这迫使我国加快了润滑油品升级换代的工作。中国石化总公司与机械电力工业部联合组织,先后研制出十几种中高档齿轮润滑油,如抗氧化防锈工业齿轮油、中负荷工业齿轮油、一坪牌重负荷工业齿轮油、天津汉沽石油化学厂辊压机润滑脂等,从而形成了我国比较完整的润滑油品种系列。在润滑剂应用方面,如完成“工业齿轮油应用技术研究”课题和《工业齿轮油选用方法》(ZBJ 1700—89)的编制工作,以及天津汉沽石油化学厂对辊压机轴承润滑脂分析试验工作等。

随着承担国外现代化水泥厂的生产管理,以及国内引进 2000~7000t/d 新型干法水泥厂投产,作者接触到技术先进国家的润滑油管理方法。在拓宽设计水泥厂的业务范围,承担新建水泥厂调试任务的过程中,为了管理好设备,提高设备运转率和设备使用寿命,必须提供全厂设备润滑表。如在 1987 年为 PD 水泥厂编制了 700t/d 新型干法水泥厂设备润滑剂一览表,一共采用了 10 种润滑油和 5 种润滑脂,满足了全厂的设备润滑要求,在表中以采用《中负荷工业齿轮油》[GB 5903—86 (2011)]和《抗磨液压油》[Q/SH 037.102—88 (95)]和《极压锂基润滑脂》[GB 7323—87 (2008)]为主,使用效果良好。以后在新设计的 700t/d、1000t/d、2000t/d、2500t/d、4000t/d、5000t/d、10000t/d 新型干法水泥厂设计中也编制了类似的全厂设备润滑表。

随着润滑剂技术的发展,我国石油化工研究总院及其石化润滑剂制造单位,一直编制完善现代中国石化润滑剂标准,使国产润滑剂的添加剂种类不断增加,性能不断提高,润滑油品实现了高性能化、通用化,为完善水泥厂润滑管理提供了条件。

2 基础知识

2.1 概述

最近，中国水泥协会和中国石化润滑公司都提出新型干法水泥设备要全优润滑，以保证设备健康运行，都提出要把润滑作为机械设备的一个重要元件来设计、制造、使用与管理。

水泥厂设备的运动零部件主要是齿轮传动、滑动轴承和滚动轴承，偶尔也能遇见平面摩擦零部件。对这些运动零部件正确润滑，能提高零部件的承载能力，延长使用寿命，提高生产效率，节约能源。这些零部件采用的润滑剂有液体的润滑油、胶体的润滑脂和固体润滑剂三种，大多采用前两种。

2.2 常用润滑油的现状

一般在两个相对运动的金属表面施加润滑油，形成润滑油膜，这样可以变金属表面间的

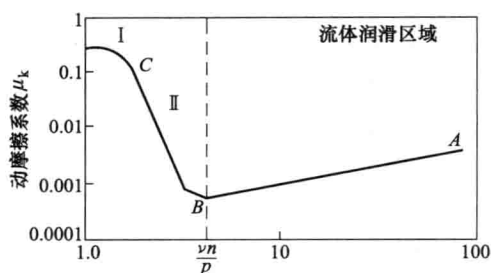


图 2-1 轴承润滑状态

固体摩擦为润滑油液体摩擦，既能大大降低零部件磨损，又能降低零部件运动阻力。这时的润滑状态分为流体润滑和边界润滑，如图 2-1 所示。

边界润滑区域还可分为 I 真正边界润滑区域、II 边界和流体两者混合区域。对于轴承来说，流体润滑区域是两个运动金属面完全被润滑膜所隔离。这时动摩擦系数 μ_k 和 $\nu n/p$ 之间的关系式如下：

$$\mu_k = K \frac{\nu n}{p}$$

式中 μ_k ——动摩擦系数；
 K ——常数；
 ν ——润滑油黏度， mm^2/s ；
 n ——轴转速， r/min ；
 p ——轴承比压， MPa 。

由上式可见，如果润滑油黏度降低，轴转速降低，轴承比压加大，摩擦面间油膜变薄，这时动摩擦系数降低。如果越过一定界限（B点），当油膜薄到不能覆盖金属表面而发生金属接触时，动摩擦系数 μ_k 急剧增加，进入混合区域。

齿轮具有负荷大、几何形状复杂、啮合中既有滚动又有滑动的特点，属于边界润滑和流体润滑兼有的混合润滑，其润滑条件比轴承能产生油楔形成流体润滑差得多。因此齿轮传动副润滑油的选择条件要求更严格，而相对来说，轴承润滑油要求较宽。选润滑油时首先应满

足齿轮副的要求，而一般来说该润滑油是能满足轴承润滑要求的。对于减速机来说，仅需根据齿轮接触应力和圆周速度来选润滑油，该油也用作轴承润滑油。基于同样的观点，对水泥厂的设备来说，以满足齿轮传动润滑的齿轮油为主，其他润滑点也选用齿轮油润滑，以减少工厂用油品种，便于润滑油管理。

改革开放以后，我国逐步引进一些国家的水泥机械制造先进技术和新型干法水泥生产线，现在我国已经能够自行设计制造 700t/d、1000t/d、2500t/d、5000t/d、10000t/d 新型干法水泥生产线，国产水泥设备自给率 95% 以上，而且还能设计制造 10000t/d 新型干法水泥生产线出口其他国家。

在国外的齿轮设计标准中，以美国齿轮协会制定的齿轮设计标准使用历史最长，大量设计、制造、安装、使用经验最实用，世界著名水泥集团（像拉法基、海德堡、兰圈）都用该标准设计和选用齿轮。AGMA 标准中就包括了润滑油黏度的选用标准。

2.3 润滑的作用

水泥厂降低生产费用就要降低能量消耗，合理润滑可以降低能量消耗。

润滑，最简单的说法就是加油，更精确的说法是供应润滑剂。按预想的基本配方，将基本流体和添加剂装在特殊容器中供给用户，用户把它注入运转设备中，以达到降低能耗的目的。

(1) 润滑可以降低能耗。好的润滑剂能节省动能，改善生产基本条件。水泥厂管理人员应注意降低生产费用，按管理规程去解决问题，使润滑得到解决。

润滑方式见表 2-1。表 2-1 中的每一种润滑方式通常是断续向下注入规定的窄小基面上而产生组成的化学过程。表 2-2 列出了润滑剂的种类及组成部分。这些说明非常简单，是多样基本流体种类和添加剂种类。

表 2-1 润滑方式

机动(运输)	产业(工厂)
重型柴油发动机	压缩机
旅行客车	轴承
运输汽车液压油	减速机
航空发动机油	液压传动
汽车液压油	汽轮机
不同油液	链条/钢丝绳
转矩油液	导轨
底盘润滑(润滑脂)	润滑脂

表 2-2 润滑油的种类及组成部分

种 类	组 成 部 分
矿物油	由原油精炼取得基本油液
合成油	合成基本油液，如 PAO、PIB、PAG 等
P&Q(防锈和抗氧化油)	含有除锈和抗氧化添加剂
AW(抗磨损油)	含有降低磨损添加剂
EP(极压油)	含有极压降低磨损添加剂
多等级油	含有改善黏性指数添加剂
DI(净化防腐剂)	含有净化剂，分散、抗氧、减摩、抗磨损添加剂
其他	去沫剂、乳化剂、反乳化剂、降低流动点增稠剂

润滑剂组成成分是复杂的。当探索最好的润滑剂时，为了使摩擦损失的能量最小，换句话说，廉价的润滑剂必须提供最佳的润滑特性。这样它们需要一个高的能量消耗量，同时在高费用下才有较好的润滑特性。然而，为了使润滑剂达到最佳的润滑剂特性，并节省能量，还要对润滑剂正确使用和适当维护。为了使它达到最佳的操作效果，还需要正确贮存、操作、过滤、油分析、培训等。

所有电动机设备需要定期维修，确保最大效率和最小非计划停机的修理时间。不适当的维修会增加能量消耗。它可能导致高的操作温度和粗劣控制，过分污染和不安全工作环境。决定维修包括增加或更换油液过滤器和油液，要进行检查、调整和修理。

使用者要知道做些什么？要找到润滑油公司，要他们帮助开发综合润滑剂和润滑可靠的程序，包括润滑剂的选择、防护和维修。

(2) 润滑可以节约能量。测定节约能量有多种方法，包括产品产量、温度变化和降低电耗。另外还可以测量燃料消耗。

① 产品产量 在使用设备时，可以通过记录它的生产产量来评定该设备的能量效率。例如，一台机器的生产能力是指在给定时间，生产一定数量的部件及润滑剂的变化。在同样的时间内，生产更多部件则该机器具有更高的能量效率。在使用该技术时，必须注意生产之外的润滑变化，需要长期生产去评估。

② 温度变化 监测温度变化是实行润滑过程的另一种方法。在运动设备的部件中，摩擦产生高的操作温度。摩擦是金属对金属接触，产生在两个相对表面，一个表面相对另一个表面运动产生摩擦。精密机械的加工表面，在显微镜下可以观察到粗糙的接触。

有多大接触量就有多大摩擦，摩擦产生较高的电功率消耗。润滑剂能降低摩擦，因此当降低摩擦时，可以降低传动减速机、压缩机、油泵或其他设备部件需要的电能。

③ 降低电耗 提到能量消耗就会直接想到电能消耗，调节电能消耗是工厂使用能量的最可靠、最重要的评价。事实上，许多公司的重要报告是润滑计划程序中的电能效率。某公司在升级其润滑剂的实践中已降低了5%~15%的消耗，节省的费用已足够支付最好润滑的费用。报告显示：在减速机中平均节约15%，在空压机中平均节约12%，在电动机中平均节约4%。

2.4 水泥厂常用润滑剂的特性

水泥厂常用的润滑剂有润滑油和润滑脂，其理化指标和意义分别叙述如下。

2.4.1 润滑油的主要理化指标和意义

2.4.1.1 黏度

黏度是润滑油的主要理化指标。它是指润滑油的内摩擦阻力，也就是当液体在外力影响下移动时液体分子间所发生的内摩擦力。黏度的大小可用动力黏度、运动黏度、条件黏度等表示。

(1) 动力黏度 若液体中有面积各为 1cm^2 和相距 1cm 的两层液体，当其中一层以 1cm/s 的速度与另一层液体做相对运动时产生 1dyn 阻力，这时动力黏度为 1P （泊）。

$$\eta = \frac{1\text{dyn} \cdot 1\text{cm}}{1\text{cm}^2 \cdot 1\text{cm/s}} = \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}} = 100\text{cP}$$

(2) 运动黏度 是液体在相同温度下的动力黏度和它的密度之比。

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{\frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}}}{\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = \text{St} = 100\text{cSt}$$

运动黏度常用毛细管黏度计来测量。它是指在规定的温度下,一定容量的润滑油流经黏度计两标线所需的时间与黏度计的特定常数的乘积。

$$\nu = Kt$$

式中 t ——流经毛细管两标线间的时间, s;

K ——黏度计特定常数, 出厂时给定。

运动黏度和动力黏度的, 国际单位制 (SI) 单位与过去所用单位的换算关系, 见表 2-3。

表 2-3 黏度单位换算关系

		运动黏度 $\nu = \eta/\rho$				
		$1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	$1 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$	$1\text{St} = 1 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$	1cSt	
运 动 黏 度	$1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	1	10^6	10^4	10^6	
	$1 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$	10^{-6}	1	10^{-2}	1	
	$1\text{St} = 1 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$	10^{-4}	10^2	1	10^2	
	1cSt	10^{-6}	1	10^{-2}	1	
			动力黏度 $\eta = \nu\rho$			
			$1\text{Pa} \cdot \text{s} = \frac{1\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$	1mPa · s	$P = 1 \frac{\text{dyn} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2}$	1cP
	$1 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$	$\frac{1}{\rho} \times \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{kg}/\text{m}^3}$	$\frac{10^3}{\rho} \times \frac{\text{mPa} \cdot \text{s}}{\text{kg}/\text{m}^3}$	$\frac{10}{\rho} \times \frac{P}{\text{kg}/\text{m}^3}$	$\frac{10^3}{\rho} \times \frac{\text{cP}}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	
	$1 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}$	$\frac{10^{-2}}{\rho} \times \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	$\frac{1}{\rho} \times \frac{\text{mPa} \cdot \text{s}}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	$\frac{10^{-2}}{\rho} \times \frac{P}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	$\frac{1}{\rho} \times \frac{\text{cP}}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	
	$1\text{St} = 1 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$	$\frac{10^{-1}}{\rho} \times \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	$\frac{10^2}{\rho} \times \frac{\text{mPa} \cdot \text{s}}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	$\frac{1}{\rho} \times \frac{P}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	$\frac{10^2}{\rho} \times \frac{\text{cP}}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	
	1cSt	$\frac{10^{-3}}{\rho} \times \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	$\frac{1}{\rho} \times \frac{\text{mPa} \cdot \text{s}}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	$\frac{10^{-2}}{\rho} \times \frac{P}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	$\frac{1}{\rho} \times \frac{\text{cP}}{\text{kg}/\text{dm}^3}$	

注: 基本关系: $\frac{1\text{mm}^2}{\text{s}} = \frac{1}{\rho} \times \frac{\text{mPa} \cdot \text{s}}{\text{kg}/\text{dm}^3} \rightarrow 1\text{mPa} \cdot \text{s} = 1 \frac{\text{mm}^2}{\text{s}} \times \rho \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$

(3) 条件黏度 用各种黏度计所测得的黏度。

① 恩氏黏度 直径为 2.8mm 的毛细管黏度计, 在一定温度下 (通常用 20℃、50℃ 和 100℃) 使 200cm³ 的润滑油流经毛细管的时间与 20℃ 时同体积蒸馏水流出毛细管所需时间的比值。记为 °E₂₀、°E₅₀、°E₁₀₀。

② 赛氏黏度 一直径为 1.76mm 的毛细管, 在给定温度下 (38℃、54℃、99℃), 使 60cm³ 的黏性流体流经该毛细管所需的时间 t (s), 即为该流体的赛氏黏度。

类似流出式黏度计 (让一定体积的流体流过仪器底部细而短的小孔, 通过测定其所需的时间来确定黏度) 还有雷氏黏度计等。一般欧洲国家和我国过去习惯使用恩式黏度 (°E), 美国习惯使用赛氏黏度 (s), 而英国习惯使用雷氏黏度 (s)。它们与运动黏度 (mm²/s) 的换算对照表见表 2-4。

(4) 黏温性能 润滑油黏性的本质表现在其分子间的引力上, 而引力大小与分子间的距离有关。当温度升高时, 油液膨胀, 分子间距离增大, 结果使黏度下降。

表 2-4 黏度换算

运动黏度 /(mm ² /s)	恩氏黏度 /°E	赛氏黏度 /s	雷氏黏度 /s	运动黏度 /(mm ² /s)	恩氏黏度 /°E	赛氏黏度 /s	雷氏黏度 /s
2.7	1.18	35	32.2	97.4	12.6	450	397
4.3	1.32	40	36.2	103	13.5	475	419
5.9	1.46	45	40.6	108	14.2	500	441
7.4	1.60	50	44.9	119	15.7	550	485
8.9	1.75	55	49.1	130	17.0	600	529
10.4	1.88	60	53.5	141	18.5	650	573
11.8	2.02	65	57.9	152	19.9	700	617
13.4	2.15	70	62.3	163	21.3	750	661
14.5	2.31	75	67.6	173	22.7	800	705
15.8	2.42	80	71.0	184	24.2	850	749
17.0	2.55	85	75.1	195	25.6	900	792
18.2	2.68	90	79.6	206	27.0	950	837
19.4	2.81	95	84.2	217	28.4	1000	882
20.6	2.95	100	88.4	260	34.1	1200	1058
23.0	3.21	110	97.1	302	39.8	1400	1234
25.0	3.49	120	105.9	347	45.5	1600	1411
27.5	3.77	130	114.8	390	51	1800	1587
29.8	4.04	140	123.6	433	57	2000	1763
32.1	4.32	150	132.4	542	71	2500	2204
34.3	4.59	160	141.1	650	85	3000	2646
36.5	4.88	170	150.0	758	99	3500	3087
38.8	5.15	180	158.8	867	114	4000	3526
41.0	5.44	190	167.5	914	128	4500	3967
43.2	5.72	200	176.4	1082	142	5000	4408
47.5	6.28	220	194.0	1152	156	5500	4849
51.9	6.85	240	212	1300	170	6000	5290
56.5	7.38	260	227	1400	185	6500	5730
60.5	7.95	280	247	1510	199	7000	6171
64.9	8.51	300	265	1630	213	7500	6612
70.3	9.24	325	287	1740	227	8000	7053
75.8	9.95	350	309	1850	242	8500	7494
81.2	10.7	375	331	1960	256	9000	7934
86.8	11.4	400	353	2070	270	9500	8375
92.0	12.1	425	376	2200	284	10000	8816

我国评定黏温性能指标，采用黏度比、黏温系数和黏温指数等。

① 黏度比 我国石油产品规格标准中，通常以润滑油在 50℃ 下黏度与在 100℃ 下黏度值之比称为该润滑油的黏度比，即 ν_{50}/ν_{100} 。润滑油的黏度比愈小，表示其在规定温度范围内黏度随温度变化愈少，也就是说该润滑油的黏温性能愈好。

黏度比计算虽然很简单，但没有考虑润滑油黏度与化学成分的关系，故只能评定成分相同、牌号相同、在一定温度范围内的黏温性能。而成分、黏度不同的润滑油，其黏度比即使相同，黏温性能也可能差别很大。

② 黏温系数 是指同种润滑油在 0℃ 和 100℃ 时运动黏度之差与该油在 50℃ 时运动黏度的比值。

$$\text{黏温系数} = \frac{\nu_0 - \nu_{100}}{\nu_{50}}$$

它比黏度比适用温度变化范围大,但也只能用于牌号相同的润滑油之间相互比较。

③ 黏度指数 表示润滑油黏度-温度性质的重要参数。黏度指数高的油,其黏温特性好,黏度随温度的变化小,如图 2-2 所示。

黏度指数 V_i 按下式计算:

$$V_i = \frac{L-U}{L-H} \times 100$$

式中 U ——试验油在 40℃时的运动黏度, mm^2/s ;

L ——黏度指数为零的标准油(环烷基原油)在 40℃时的运动黏度; mm^2/s ;

H ——黏度指数为 100 的标准油(石蜡基原油)在 40℃时的运动黏度, mm^2/s 。

例如,某油品在 40℃时的运动黏度为 $82.5\text{mm}^2/\text{s}$,在 100℃时的运动黏度为 $9.1\text{mm}^2/\text{s}$,由资料查得 $L=138.18\text{mm}^2/\text{s}$, $H=77.74\text{mm}^2/\text{s}$,代入上式求得黏度指数为

$$V_i = \frac{138.18 - 82.5}{138.18 - 77.74} \times 100 = 92$$

(5) 黏压特性

润滑油的黏度随其所受的压力的增大而增大,常用下列公式表示压力与黏度的函数关系

$$\eta_p = \eta_0 e^{\alpha p}$$

式中 V_p ——压力 p 时的动力黏度;

η_0 ——常压下的动力黏度;

p ——压力;

α ——黏压系数,决定于油品和温度。一般矿物油和合成油的黏压系数为 $(5 \sim 30) \times 10^{-3} \text{mm}^2/\text{N}$,对于环烷基油 $\alpha = (0.6 + 0.9651g\eta_0) \times 10^{-2} \text{mm}^2/\text{N}$ 。

例如 $\alpha = 2.3 \times 10^{-2} \text{mm}^2/\text{N}$ 的润滑油,当所受压力 $p = 300\text{MPa}$ 时,其 $e^{\alpha p} = 1000$,也就是说在此压力下的润滑油的黏度为大气压力下黏度的 1000 倍。

润滑油黏度既是区分各种润滑油牌号的标志,也是主要质量指标和工艺计算的参数。油品随馏程增高黏度增加,精制加深,黏度降低,在油品使用中可以根据黏度变化判断油品的变质情况。对流体润滑来说,油的黏度越大,则摩擦系数越大。油的黏度对于保证良好密封及冷却作用均有很重要的意义。

2.4.1.2 凝固点(倾点)

将润滑油放在试管中冷却,直到把它倾斜 45°保持 1min 油面不流动时的最高温度称为该油的凝固点。凝固点的测定按国家标准《石油产品凝点测定法》(GB 510—83)方法进行。

凝固点表示润滑油的耐低温性能,所以在低温工况下的机械,应选择低凝固点润滑油。

润滑油中烷烃在低温时形成结晶,阻碍油流动,导致凝固。若在油中加入降凝剂,则能阻止烷烃形成结晶,从而可以降低凝固点。

2.4.1.3 酸值

酸值是评定润滑油中有机酸含量的指标,以中和 1g 润滑油中酸所需氢氧化钾(KOH)的毫克数表示。

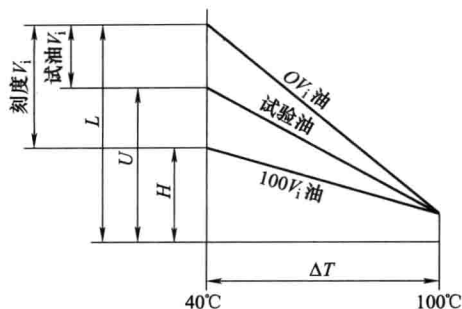


图 2-2 黏度指数

在润滑油贮存使用中，可以根据酸值指标变化情况来判断润滑油的氧化变质情况。

水溶性酸和碱是指溶于油品中的无机酸和碱，以及低分子有机酸氧化物。它来自加工精制过程或贮运中的污染或浅度氧化。油中的水溶性酸和碱会腐蚀机器设备，加速油品变质，降低油品绝缘性能。

2.4.1.4 闪点

将油加热蒸发成气体与空气混合后达到一定浓度，遇火瞬间闪火的最低温度称为润滑油闪点。测定闪点的方法有两种：开杯闪点（GB/T 267—88）和闭杯闪点（GB/T 261—2008）。一般闪点在150℃以下的轻质油品用闭杯法测闪点，重质润滑油和深色石油产品用开杯法测定。同一个油品开杯闪点较闭杯闪点高20~30℃。

闪点作为润滑油的一个安全指标，也可判断润滑油中是否混入轻质燃料。一般在高温下操作的机器设备，要求油品具有较高的闪点。

2.4.1.5 残炭

把油品加热蒸发分解最后生成焦炭状残余物的总量称为残炭，用占试验油质量百分数表示。残炭的测定按GB 268—1987标准法（康氏法）或SH/T 0160—1992标准方法（兰氏法）或SH/T 0170—92（2000）（电炉法）进行。

残炭值标志着油品精制程度。残炭值高的油会加速机器磨损，会形成大量积炭将油路堵塞，如堵塞空压机的排气管道，当温度升高时，甚至会发生爆炸。

2.4.1.6 灰分

灰分为油品完全燃烧后所剩下的灰白色残留物，以占试验油质量百分数表示。灰分的测定按GB 508—1985标准方法。

灰分也是润滑油精制指标之一。对不含添加剂的润滑油，灰分越低，精制程度越高，润滑油越稳定。一些带有金属盐的添加剂也会形成灰分，故灰分也可作为判断油中添加剂加入量的指标。

灰分大易产生积灰和结焦，会增加机件磨损，一般灰分大的残炭也高。

2.4.1.7 水分

水分为油品中含水量多少，以质量百分数表示。水分会使油品质量变坏，容易发生锈蚀。在液压油中，水分会导致气泡，造成气阻使供油中断。含添加剂齿轮油中存在水分会引起添加剂水解，发生分层和乳化。水分测定按GB/T 260—1977标准方法或用SH/T 0257—1992定性试验方法进行。

油和水混合后形成乳化液，经过静置，使之重新分离所需要的时间称为抗乳化度。若液压油的抗乳化性好，则能保证油路系统正常工作；反之，会影响润滑性能，甚至堵塞油路。抗乳化性试验，按GB/T 7305—1987标准方法进行。对高黏度润滑油的抗乳化性试验按GB 8022—1987标准方法进行。

2.4.1.8 氧化安定性

润滑油使用和贮存过程中与空气中氧接触产生氧化，生成羧酸、胶质、沥青等，使油的颜色变暗，黏度增加，酸性增大，产生沉淀。润滑油氧化深度与它的化学组成、氧化温度、氧化时间以及金属或其他物质的催化作用有关。

氧化安定性因使用条件以及测定方法不同而异。如对变压器油的氧化安定性，按SH/T 0206—1992标准方法进行。