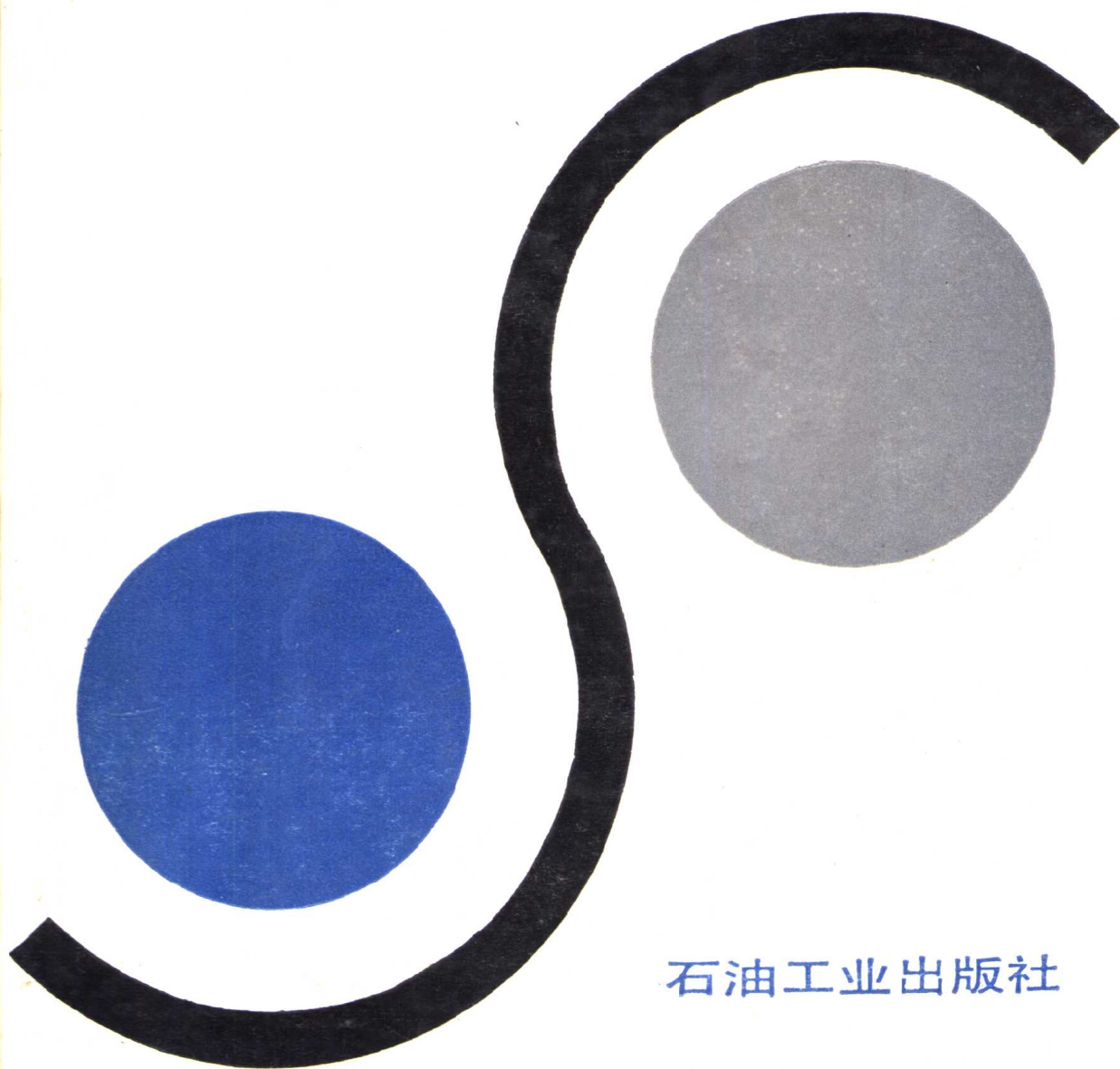


欧 风 编著

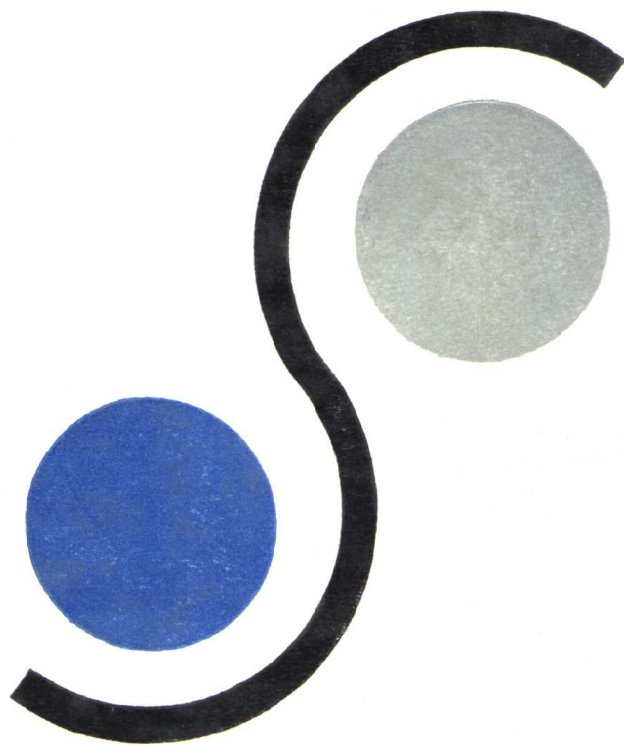
合理润滑

技术手册



石油工业出版社

责任编辑：宋增尧 王树人
封面设计：赛维钰



ISBN 7-5021-0804-1/TE · 750
(精) 定 价：39.00 元

合理润滑技术手册

欧 风 编著

石油工业出版社

(京)新登字082号

内 容 提 要

本书以各行业节约能源、提高设备运转率和增加经济效益为目的,全面叙述了轴承、齿轮、液压、导轨、绳索和无级变速机等的基本润滑原理,各种机械的正确润滑,减摩节能及提高效率,各种润滑剂的性能和正确选用,合理润滑方法与技术管理;同时介绍了国内外润滑节能技术和提高经济效益的经验,并针对各行业所用机械作了具体的合理润滑技术、润滑方法与润滑剂选用的介绍。是一本理论结合实际,深入浅出,图文并茂的合理润滑技术科学全书。适于各行业机械动力设备设计、制造、管理和操作人员、科研人员和润滑剂科研、生产、运销人员,以及各高等工科院校师生的参考和学习之用。

合理润滑技术手册

欧 风 编著

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

北京地质印刷厂排版

北京北苑印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 57 $\frac{1}{4}$ 印张 1插页 1439千字 印1—8,000

1993年5月北京第1版 1993年5月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-0804-1/TE·750

精装定价: 39.00元

序 言

《合理润滑技术手册》的出版是摩擦学与生产实践相结合、服务于生产的又一项成果。

摩擦存在于一切相对运动的接触偶件中，磨损是其相应派生的结果。润滑则体现了人的主观能动性，运用科学技术成果，改善摩擦磨损特性。由此可见，合理润滑技术成为具有丰富技术内涵、确保设备运行可靠、又有重要经济效益的一项基本措施。

各类机械设备，如机床、工程机械、冶金设备、发电设备、食品机械等，或是交通运输工具，如汽车、船舶、火车、飞机、火箭等，也无论是尖端技术装备，如原子能设备、宇航运载工具、微电子技术装备等，直至与人民生活密切相关的用具，如吸尘器、录像机、录音机、冰箱、空调器等都离不开合理的润滑技术。这表明合理的润滑技术有相当广泛的共性。可以毫不夸张的认为，一切具有相对运动的机械都离不开润滑。另一方面，各类机械，或某种机械的不同部位，速度、载荷、温度、气氛环境等工况差异很大，对润滑的具体要求千差万别。这表明合理的润滑技术又具有相当差异的个性。需要因地制宜，针对具体工况选择合理的润滑方式。《合理润滑技术手册》一书综合考虑了对润滑技术的共性和个性要求。第1章至第4章介绍了润滑技术的共性理论和基础数据。随后各章依次叙述不同基础零部件和机械设备的合理润滑技术。极大地方便润滑工作的科研、设计、使用有关的人员参阅和查用。

本书的主笔欧风教授、高级工程师从事润滑材料的标准、质量及应用技术数十年，有深刻的摩擦学理论造诣和丰富的润滑生产实践经验，且多有著作发表。我是先见其文、后识其人，深深地为他在摩擦化学与润滑油特性方面的深刻见解所吸引。郑重地向读者推荐他的力作《合理润滑技术手册》。

我深信，本书的出版将在帮助选用合理润滑方式、确保设备运行可靠，达到节能节材效果方面有良好的裨益。从而，会受到机械、交通运输、冶金机械、发电设备、家用机电产品、以及石油化工部门工程技术人员、研究人员和师生的欢迎。

中国机械工程学会

摩擦学专业学会理事长、教授、高级工程师 万长森

1992年4月于北京

自序

合理润滑技术是保证和改进机械设备节能、高效、长期正常运转的基本措施之一。现代国家的经济发展、社会生产和生活都离不开先进机械的正常运转,而保证正常运转必需依靠先进合理的润滑技术。为此,我国全国能源基础与管理标准化技术委员会制订了《合理润滑技术通则(GB13608-92)》,已由国家技术监督局1992年8月15日颁布从1993年5月1日起全国执行。

合理润滑技术是为国民经济发展和人民生活福利服务的应用技术科学,润滑技术是机械运转的命脉,润滑油是机械运转的血液,因而先进的润滑技术和高性能的润滑剂的开发和应用,是保证人民生活和工作及各行业机械的节能、高效正常运转的前提,是科学技术进步和生产效率提高及经济效益增收的后盾,没有先进合理的润滑技术就没有先进的机械运转,也就不可能有先进的生产和繁荣的经济,因此各工业国都十分重视先进合理的润滑技术的研究开发和推广应用。工业先进国家的1990年总产值单位能耗都已下降到1980年的一半左右,其中由于改善润滑技术的效果所占比例约10%~20%。据日本1989年1月号摩润技术者(トライボロジスト)月刊发表的榎本祐嗣的摩润学与经济的文章指出,1970年日本由于改善润滑技术而年增经济效益近2万亿日元,名古屋钢厂由于改善润滑技术而年增经济效益达20亿日元,同时机械设备事故减少到十分之一,证实了润滑技术影响国民经济发展至巨而引起各行业的重视。

我国合理润滑技术的开发和应用刚刚起步,尚未得到各行业人士的共识和重视,因而成效不大。我国的合理润滑技术在节能和经济效益方面潜力极大,有待于各行业努力倡导和开发。润滑技术是跨学科、跨行业的综合性边缘科学技术,必须由各学科、各部门通力合作研究开发和推广应用方可奏效。不良的机械润滑潜伏着各种不易发现的隐患,包括不被预见的慢性损害,最后导致发生无形的损失和突然的事故,特别是在关系到能源消耗方面,除运输等所占成本比例较大者外,一般工业大都只占成本的5%以下,因而多未引起重视。至于搞好合理润滑技术而带来的设备投资减少、维修费用节约、设备效率提高、运转(生产)周期和使用寿命延长等直接效益也常视而不见,对由此而带来的巨大社会效益,则是无从统计而未得到决策层的关注。有鉴于此,作者据多年从事润滑油脂应用和润滑技术工作的经验,形成合理润滑技术的新概念,并提出实行合理润滑技术的节能和增加经济效益的措施。

本书以减少设备摩擦磨损、节约能源和提高经济效益为目标,论述了合理润滑技术的基础理论,介绍了各行业机械和人民生活与办公机械的节能和提高效益的合理润滑技术的实施方法,以及正确选用和管理润滑剂的要领,并提出优化润滑管理系统工程,借以达到减少机械摩擦以节约能源、降低机械磨损,以提高效率、增加经济效益的目的。

本书写作过程中得到各方面专家的指教和支持,在此对本书写作意图和内容策划给以大力帮助的大庆石油管理局王世湖教授级高级工程师、合肥工业大学摩擦学研究所所长桂林教授和百忙中惠予作序的全国摩擦学学会理事长万长森司长等技术专家,及担任本书

编辑校审工作的编审们致以衷心感谢。

本书承蒙全国能源基础与管理标准化技术委员会推荐为国家技术监督局颁布的《合理润滑技术通则》GB13608 国家标准的宣贯教材，特此致谢。

参加本书完稿工作的还有肖英、欧波、李晓等同志。由于作者的水平和条件所限，错误和不足之处在所难免，敬请各界人士不吝指教。

作者 1992 年 1 月于北京

136608

目 录

1 绪论	
1.1 合理润滑技术与节约能源	1
1.2 合理润滑技术与经济效益	1
1.2.1 国外合理润滑技术的节能和经济效益	2
1.2.2 我国合理润滑技术的节能及经济效益前景	3
2 合理润滑机理	
2.1 摩擦和磨损	6
2.1.1 粘附	7
2.1.2 摩擦	9
2.1.2.1 摩擦三定律(定理)	9
2.1.2.2 摩擦和动力损失	9
2.1.2.3 静摩擦和动摩擦	9
2.1.2.4 滑动摩擦、滚动摩擦和动力损失	10
2.1.3 磨损	12
2.1.3.1 粘结(凝附)磨损	14
2.1.3.2 磨粒磨损	15
2.1.3.3 疲劳磨损	15
2.1.3.4 摩擦化学疲劳磨损	18
2.1.3.5 摩擦化学腐蚀磨损	22
2.1.3.6 气蚀(液冲气蚀)	24
2.2 合理润滑的理论基础	26
2.2.1 流体润滑的机理	26
2.2.1.1 同心轴承的流体润滑	27
2.2.1.2 非同心轴承的流体润滑	28
2.2.1.3 流体润滑的主要接触形式	33
2.2.1.4 流体润滑的界限与温升	34
2.2.2 弹性流体润滑机理	34
2.2.2.1 弹性流体润滑的特点	34
2.2.2.2 弹性流体润滑的理论式	35
2.2.2.3 弹性变形和高压粘度	35
2.2.2.4 弹性流体润滑的油膜厚度	37
2.2.2.5 弹性流体润滑与流体润滑油膜厚度	47
2.2.3 边界润滑机理	48
2.2.3.1 边界润滑的特点	48
2.2.3.2 边界润滑的解析	49
2.2.3.3 边界润滑和润滑剂	51
2.2.3.4 边界润滑的油膜厚度与负荷	52
2.2.3.5 边界润滑的速度、温度作用	53
2.2.3.6 边界润滑和摩擦面粗度	55
2.2.3.7 边界润滑与摩擦化学反应	56
2.2.3.8 边界润滑与添加剂作用的润滑膜	58
2.2.4 混合润滑机理	61
2.2.4.1 混合润滑理论的解析	61
2.2.4.2 滑动轴承的润滑	62
2.2.4.3 推力轴承的润滑	64
2.2.4.4 滚动轴承的润滑	64
2.2.4.5 齿轮的润滑	64
2.2.4.6 混合润滑的化学膜厚度	66
2.3 合理润滑理论与润滑剂节能	70
2.3.1 润滑油低粘度化与节能	70
2.3.1.1 粘度和润滑摩擦阻力	71
2.3.1.2 滑动轴承润滑摩擦力和粘度	71
2.3.1.3 齿轮润滑摩擦力和粘度	72
2.3.1.4 粘度和搅动阻力及润滑系统阻力	73
2.3.2 润滑油高粘度指数化与节能	74
2.3.2.1 粘温钝感性	75
2.3.2.2 非牛顿流体性	75
2.3.2.3 暂时粘度下降	76
2.3.2.4 粘弹性	76
2.3.2.5 乱流抑制性能	77
2.3.2.6 流变特性	77
2.3.3 减摩性能最佳化	78
2.3.3.1 油溶型摩擦缓和剂	79
2.3.3.2 非油溶型摩擦缓和剂	80
3 润滑油	
3.1 石油系润滑油及添加剂	83
3.1.1 石油基础油的组成和性质	83
3.1.2 添加剂的选用	86
3.2 烃系合成润滑油	96
3.2.1 加氢齐聚油	96

3.2.2 聚 α -烯烃油	98
3.2.2.1 聚 α -烯烃(PAO)的合成	99
3.2.2.2 聚 α -烯烃油的性能与用途	100
3.2.3 缩聚合成烃型润滑油	102
3.2.4 烷基苯油	102
3.2.5 聚异丁烯油	104
3.3 合成润滑油	105
3.3.1 合成油的分子结构与特性	106
3.3.2 合成油的特性及用途	108
3.3.3 酯油	113
3.3.4 聚乙二醇油	123
3.3.5 聚苯基醚油	127
3.3.6 硅油	130
3.3.7 卤化烃油	134
3.3.8 其他合成油	139
3.4 润滑油质量指标和使用性能	143
3.4.1 理化指标的意义	143
3.4.1.1 密度	143
3.4.1.2 粘度	143
3.4.1.3 粘度指数	149
3.4.1.4 油性和极压性	156
3.4.1.5 抗氧化安定性	161
3.4.1.6 耐热安定性	164
3.4.1.7 破乳化性和乳化性	166
3.4.1.8 抗泡沫性	167
3.4.1.9 防锈性	167
3.4.1.10 防腐蚀性和酸值及水溶性酸、碱	167
3.4.1.11 倾点	168
3.4.1.12 闪点	168
3.4.1.13 残炭	168
3.4.1.14 灰分	169
3.4.1.15 水分和机械杂质或沉淀物	169
3.4.2 使用性能指标的意义	169
3.4.2.1 耐负荷性能和抗摩擦、磨损	169
3.4.2.2 低温性能	172
3.4.2.3 抗剪切安定性	175
3.4.2.4 清净分散性	175
3.4.2.5 节能(燃油)效果	176
3.4.2.6 抗水解安定性	177
3.4.2.7 油膜厚度的测定	178
3.4.2.8 液压油泵耐磨损性	178

3.4.2.9 在用油铁谱分析预测	178
-------------------	-----

4 其他润滑剂

4.1 润滑脂	180
4.1.1 润滑脂的种类	181
4.1.1.1 汽车(拖拉机)用润滑脂	181
4.1.1.2 工业用润滑脂	181
4.1.2 质量指标的意义	183
4.1.2.1 使用性能指标	183
4.1.2.2 理化性能指标	184
4.1.3 组成及结构特性	186
4.1.4 稠化剂种类、性能及选用	190
4.1.5 基础油种类、性能及选用	190
4.1.6 添加剂的选用	192
4.1.7 润滑脂性能及用途	193
4.1.7.1 皂基润滑脂	194
4.1.7.2 复合皂基润滑脂	196
4.1.7.3 非皂基润滑脂	198
4.1.7.4 各种稠化剂基脂的耐漏温度	199
4.1.7.5 合成润滑脂	199
4.1.8 润滑脂的选用	199
4.1.8.1 稠度和装入量与节约能源	204
4.1.8.2 减震性和粘附性及防流失性	204
4.1.8.3 稠度和基础油粘度与能源节约	204
4.1.8.4 基础油和稠化剂适用温度	204
4.1.9 润滑脂混合与性能变化	204
4.1.9.1 皂基脂混合的性能变化	205
4.1.9.2 多效通用脂混合后性能变化	206
4.1.9.3 混合使用寿命的变化	207
4.1.10 润滑脂使用寿命及填充量	207
4.1.11 脂润滑事故的对策	208
4.2 防锈蚀润滑油(脂)	209
4.2.1 防锈润滑油的性能和作用	210
4.2.2 润滑膜型防锈润滑油	213
4.2.3 水溶性(或乳化)型防锈润滑冷却油	215
4.2.4 气相防锈蚀润滑油	216
4.2.5 防锈添加剂的选用	216
4.2.5.1 油溶性磷酸盐	217

4.2.5.2	羧基酸	217
4.2.5.3	羧基酸盐	217
4.2.5.4	酯及醇	218
4.2.5.5	碳酸钙分散复合防锈 剂	218
4.2.5.6	其他防锈剂	218
4.2.5.7	多元防锈剂(防锈剂配 伍组分)	218
4.2.6	防锈油用基础油	219
4.2.7	防锈润滑脂	219
4.2.8	防锈润滑油(脂)的选用	219
4.2.9	防锈润滑油(脂)的使用方法	219
4.2.9.1	预处理方法	219
4.2.9.2	涂敷方法	222
4.3	水基润滑油	223
4.3.1	水基润滑油的特性	223
4.3.2	水基润滑油的种类、组分和 结构	223
4.3.3	水基润滑油使用性能	224
4.3.4	水基润滑油用基础油和添 加剂	225
4.3.5	高含水液压油	228
4.4	固体润滑剂	230
4.4.1	胶体石墨	231
4.4.2	二硫化钼	235
4.4.3	二硫化钨	238
4.4.4	氮化硼	239
4.4.5	氟化石墨	242
4.4.6	一氧化铅	243
4.4.7	氮化硅	244
4.4.8	塑料树脂固体润滑剂	245
4.4.9	金属固体润滑剂	245
5 轴承的合理润滑技术		
5.1	滑动轴承的润滑	249
5.1.1	滑动轴承的特性	250
5.1.2	最小油膜厚度	252
5.1.3	润滑方法	253
5.1.4	滑动轴承的合理润滑理论	255
5.1.5	滑动轴承润滑油适用粘度	258
5.1.6	滑动轴承润滑用油的选定	261
5.1.7	滑动轴承润滑油的加油量	269
5.1.8	轴承润滑油换油参考指标	271
5.1.9	滑动轴承用润滑脂的选定	271
5.1.10	润滑方法及轴承材料	272
5.1.11	润滑事故现象及处理方法	273

5.2	滚动轴承的润滑	274
5.2.1	滑动摩擦(润滑)和滚动摩 擦(润滑)	275
5.2.2	滚动轴承的润滑特点	277
5.2.2.1	滚动轴承特点和润滑	277
5.2.2.2	滚动轴承与滑动轴承	278
5.2.3	滚动轴承的润滑机理	278
5.2.3.1	滚动轴承的弹性流体 润滑	278
5.2.3.2	滚动轴承的流体润滑	281
5.2.3.3	滚动轴承润滑机理及 所用润滑油粘度	282
5.2.4	润滑法及润滑剂	283
5.2.5	润滑剂的选用	284
5.2.6	脂润滑技术	288
5.2.7	油润滑技术	294
5.2.7.1	润滑法及润滑油量	294
5.2.7.2	润滑油的选用	296
5.2.7.3	滚动轴承润滑油的换 油期(指标)	298
5.2.8	各种机械滚动轴承的润滑	302
5.2.9	滚动轴承润滑事故解决措 施	303

6 齿轮的合理润滑技术

6.1	齿轮润滑理论	304
6.1.1	齿轮弹性流体润滑	304
6.1.2	齿轮润滑的理论计算	305
6.2	齿轮摩擦的动力损失	311
6.2.1	齿轮的动力损失与润滑油 粘度	312
6.2.2	齿轮轴承损失功率计算式	312
6.2.3	齿轮润滑的动力损失	312
6.2.4	齿轮节能润滑和润滑油	313
6.3	齿轮油性指标	315
6.3.1	理化性能指标的意义	315
6.3.2	影响润滑的因素	325
6.3.3	齿轮油用途分类及性能	328
6.4	齿轮的润滑方法	329
6.4.1	闭式齿轮润滑法	329
6.4.2	开式齿轮润滑法	333
6.5	汽车、拖拉机齿轮的润滑	336
6.5.1	粘度分级选用与节能	336
6.5.2	质量分档选用与节能	338
6.5.3	汽车、拖拉机齿轮油的现状	342
6.5.4	节能齿轮润滑油发展趋势	343

6.6 自动变速机的润滑	346	7.2.3 导轨润滑要求最适油膜厚度	425
6.7 工业齿轮的润滑	352	7.2.3.1 导轨润滑的要求	425
6.7.1 开式齿轮的润滑	352	7.2.3.2 导轨润滑油膜厚度计算	425
6.7.2 闭式齿轮的润滑	354	7.2.4 导轨润滑油粘度的选用	426
6.7.3 蜗母轮的润滑	356	7.2.4.1 导轨油粘度计算	426
6.7.4 工业齿轮油的使用性能	358	7.2.4.2 导轨润滑油标准	426
6.8 齿轮润滑油的选用	361	7.2.4.3 导轨润滑油的选用	427
6.8.1 齿轮用油粘度计算	361	7.3 钢丝绳和链索的润滑	428
6.8.2 蜗母轮润滑油粘度和性能	364	7.3.1 钢丝绳的润滑	428
6.8.3 闭式齿轮用润滑油	364	7.3.2 链索的润滑	432
6.8.4 开式齿轮用润滑油	372	7.3.3 润滑剂性能和试验	435
6.9 齿轮油的换油指标、耗油量及润滑事故处理	373	7.4 无级变速机的润滑	436
7 液压、导轨及其他摩擦副的合理润滑		7.4.1 牵引驱动的特点	437
7.1 液压装置的合理润滑技术	377	7.4.2 牵引驱动装置结构	438
7.1.1 液压油种类和规格标准	378	7.4.2.1 定速比型牵引驱动装置	438
7.1.2 液压油性能和用途	378	7.4.2.2 变速比型牵引驱动装置	439
7.1.3 液压油的特性要求	386	7.4.3 牵引驱动机构的润滑机理	439
7.1.4 节能减摩液压油	393	7.4.3.1 牵引曲线	439
7.1.4.1 低粘度液压油和节能	393	7.4.3.2 润滑剂流变性对牵引驱动的影响	440
7.1.4.2 液压油减摩性能与节能	395	7.4.4 各种润滑剂的牵引特性	442
7.1.4.3 改善液压油性能与节能	397	7.4.4.1 石油系牵引油	442
7.1.5 抗磨液压油	399	7.4.4.2 合成油系牵引油	443
7.1.6 耐燃液压油	402	7.4.5 牵引油性能	445
7.1.7 长寿液压油	405	7.4.5.1 牵引特性(摩擦传动特性)	445
7.1.8 数字控制(NC)液压油	405	7.4.5.2 粘度、粘度指数	446
7.1.9 防漏液压油	405	7.4.5.3 抗氧化安定性	446
7.1.10 抗乳化型液压油	406	7.4.5.4 耐负荷性、抗磨性	446
7.1.11 合成液压油	406	7.4.5.5 抗泡性	446
7.1.12 水基液压油和节能	408	7.4.5.6 密封材料适应性	446
7.1.13 液力传动油	411	7.4.5.7 其他特性	446
7.1.14 液压油选用指标	411	7.4.6 牵引驱动装置(无级变速机)的润滑	446
7.1.15 液压油的换油	411	7.4.6.1 按摩机械用无级变速机的润滑	447
7.1.15.1 液压系统的清洗	411	7.4.6.2 工业机械用无级变速机的润滑	447
7.1.15.2 液压油换油质量指标	413	7.4.6.3 汽车用无级变速机的润滑	448
7.1.16 液压润滑事故的处理	413	7.5 其他摩擦元件的润滑	449
7.2 导轨的合理润滑技术	414		
7.2.1 导轨润滑机能和特点	417		
7.2.1.1 导轨润滑机理及防爬导轨油	418		
7.2.1.2 低行进速度的给定	421		
7.2.2 滑动台滑动面对爬行的影响	422		

7.5.1 螺杆或丝扣的润滑	449	9.1.5 机床液压导轨油的性能要求	528
7.5.2 活塞环和气缸的润滑	450	9.1.6 机床用润滑油(脂)的选用	529
7.5.3 凸轮的润滑	451	9.1.7 机床润滑油换油质量指标	534
7.5.4 弹簧的润滑	452	9.2 压缩机、冷冻机、真空泵的润滑	535
7.5.5 键销的润滑	452	9.2.1 往复式压缩机的润滑	536
7.5.6 轴接头(联轴节)的润滑	452	9.2.1.1 往复式压缩机对润滑油性能要求	536
7.5.7 离合器的润滑	454	9.2.1.2 气体压缩机对润滑油的要求	541
7.5.8 皮带变速机构的润滑	455	9.2.1.3 往复压缩机适用润滑油粘度	542
8 发动机的合理润滑技术		9.2.2 回转式压缩机的润滑	545
8.1 内燃机润滑和润滑油性能	457	9.2.3 压缩机润滑密封和适油量及粘度	549
8.1.1 耐用性和抗腐蚀、抗磨损性能	457	9.2.4 压缩机润滑事故分析和对策	551
8.1.2 节能和减摩性能	465	9.2.5 冷冻机的润滑	553
8.1.3 内燃机油质量分类和性能	476	9.2.5.1 冷冻机润滑油性能要求	554
8.2 内燃机润滑油的选用	489	9.2.5.2 节能冷冻机油和换油质量指标	559
8.2.1 汽油机润滑油的选用	489	9.2.6 真空泵的润滑	561
8.2.2 节能型汽油机润滑油	491	9.2.7 冷冻机和真空泵润滑油选定	563
8.2.3 二冲程汽油机油的选用	493	9.3 冶金工业机械的润滑	563
8.2.4 燃烧含醇汽油发动机的润滑	498	9.3.1 压延机的润滑	563
8.2.5 柴油机润滑油的选用	498	9.3.1.1 压延机润滑油粘度	564
8.2.5.1 粘度标号的选择	499	9.3.1.2 压延机用润滑油性能	565
8.2.5.2 质量档级的选择	500	9.3.2 制铁机械的润滑	568
8.2.6 在发动机不同运转条件下润滑油的选用	504	9.3.3 制钢设备的润滑	569
8.2.7 内燃机油换油指标及润滑事故处理	505	9.3.4 润滑方法	570
8.3 燃气轮机(燃气透平)的润滑	511	9.3.5 冶金机械润滑用油汇总	570
8.3.1 润滑系统	511	9.3.6 冶金机械液压系统用油	572
8.3.2 润滑油	512	9.3.7 压延机油换油指标	573
8.3.2.1 石油系润滑油	513	9.3.8 润滑节能及润滑事故处理	574
8.3.2.2 合成系燃气轮机油	514	9.4 轮机发电机及电动机的润滑	574
8.3.3 监测和换油指标	514	9.4.1 火力发电机械的润滑	575
8.3.4 污染的控制	516	9.4.1.1 一般蒸汽轮机发电机组的润滑	575
8.3.5 保持适当的温度	516	9.4.1.2 临界压力蒸汽轮机发电机的润滑	575
8.3.6 保持良好的供油	516	9.4.1.3 燃气、蒸汽轮机联合发	
8.4 蒸汽发动机的润滑	516		
8.4.1 蒸汽轮机的润滑	516		
8.4.2 往复蒸汽机的润滑	517		
9 工业机械的合理润滑技术			
9.1 机床的润滑	520		
9.1.1 机床润滑的要求	520		
9.1.2 机床润滑和润滑油性能	521		
9.1.3 机床的润滑方法	526		
9.1.4 机床液压油的性能要求	526		

发电机组的润滑	575
9.4.2 水力透平发电机组的润滑	578
9.4.3 气轮机发电机组的润滑管 理	579
9.4.3.1 润滑循环系统管理	579
9.4.3.2 气轮机发电机组润滑 系统的冲洗	579
9.4.3.3 轴承的润滑	580
9.4.3.4 油封	581
9.4.3.5 控制发热及冷却	581
9.4.3.6 气轮机发电机组润滑 油监测及换油	581
9.4.3.7 气轮机发电机润滑事 故处理	582
9.4.4 电动机的润滑	582
9.4.4.1 各式轴承的润滑	582
9.4.4.2 电动机润滑用油(脂)	584
9.5 矿业机械的润滑	588
9.5.1 矿业机械润滑剂性能	588
9.5.1.1 润滑油性能要求	588
9.5.1.2 润滑脂性能要求	590
9.5.2 矿业机械润滑的实际	590
9.5.2.1 发动机的润滑	590
9.5.2.2 齿轮的润滑	592
9.5.3 液压系统用油	592
9.5.4 地下及露天采矿机械的润 滑	594
9.5.4.1 拉牵凸轮的润滑	594
9.5.4.2 钢丝绳的润滑	595
9.5.4.3 凿岩机的润滑	595
9.5.4.4 风动机的润滑	595
9.5.5 石油矿场机械的润滑	596
9.5.5.1 钻机的润滑	596
9.5.5.2 采油机械的润滑	596
9.5.5.3 油田建设机械的润滑	598
9.6 纺织机械与工艺的润滑	602
9.6.1 纺织机械的润滑	602
9.6.1.1 锭子的润滑	602
9.6.1.2 纺织机械的润滑	603
9.6.1.3 织布机的润滑	603
9.6.1.4 纺织机械润滑油换油 期	604
9.6.2 合成纤维纺织工艺用油	604
9.6.2.1 合成纤维的摩擦和润 滑	605

9.6.2.2 合成纤维纺织用润滑 剂	607
9.7 造纸机械的润滑	611
9.7.1 纸浆机械的润滑	611
9.7.2 造纸机的润滑	612
9.7.3 造纸机械润滑油(脂)选用	613
9.7.4 造纸机械润滑油换油参考 指标	621
9.8 食品工业机械的润滑	621
9.8.1 啤酒及软饮料机械的润滑	625
9.8.2 水果、蔬菜罐头机械的润 滑	626
9.8.3 汽水、冰淇淋机械的润滑	627
9.8.4 制糖机械的润滑	628
9.8.5 乳品制造机械的润滑	629
9.9 橡胶、塑料加工机械的润滑	631
9.9.1 橡胶加工机械的润滑	631
9.9.2 塑料加工机械的润滑	631
9.10 石化及化工机械的润滑	633
9.10.1 裂解装置机械的润滑	634
9.10.2 聚乙烯装置机械的润滑	634
9.10.3 合成氨装置机械的润滑	634
9.10.4 酸、碱、盐装置机械的润 滑	634
9.11 森林及木材加工机械的润滑	634
9.12 印刷机械的润滑	638
10 交通、工程建设、农业、特殊 机械及家用电器的合理润滑技术	
10.1 汽车运输机械的润滑	640
10.1.1 汽车润滑与节能	640
10.1.2 传动装置的润滑	640
10.1.3 变速机(箱)的润滑	640
10.1.4 汽车车体的润滑	641
10.1.5 刹车油(制动液)	643
10.1.6 防冻液	645
10.2 船用机械的润滑	648
10.2.1 船舶机械润滑的特点	648
10.2.2 船舶内燃机的润滑	649
10.2.2.1 船用柴油机油性能要 求	650
10.2.2.2 船用柴油机油换油指 标	657
10.2.2.3 柴油机用乳化碱性气 缸油	658
10.2.2.4 低质燃料柴油机对润	

滑油的性能要求	658	10.6.4	农机具的润滑	702
10.2.2.5 船用柴油机润滑与节能	658	10.6.5	农副业加工机械的润滑	704
10.2.3 船用蒸汽机的润滑	659	10.6.6	农业机械润滑油换油期	705
10.2.3.1 船用蒸汽轮机的润滑	659	10.6.7	拖拉机共通润滑油	706
10.2.3.2 船用往复蒸汽机的润滑	660	10.6.8	拖拉机和农机润滑图表	706
10.2.4 船舶辅机及甲板机械的润滑	661	10.7 特殊机械的润滑	707	
10.2.5 船舶机械润滑管理	663	10.7.1 特殊环境下的机械润滑	707	
10.3 航空机械的润滑	665	10.7.2 原子能发电机械的润滑	709	
10.3.1 航空发动机的润滑	665	10.7.3 宇航器机械的润滑	711	
10.3.1.1 活塞航空发动机的润滑	665	10.8 电子机械的润滑	715	
10.3.1.2 喷气航空发动机的润滑	667	10.8.1 机器人的润滑	715	
10.3.2 航空液压系统用油	671	10.8.2 电子计算机(电脑)的润滑	717	
10.3.3 航空仪表的润滑	672	10.9 办公机器的润滑	717	
10.3.4 机体机械的润滑	672	10.9.1 静电复印机的润滑	717	
10.4 火车运输机械的润滑	673	10.9.2 照像机、电话机的润滑	718	
10.4.1 轮周与钢轨的润滑	673	10.9.3 录放机磁带、磁盘的润滑	718	
10.4.2 车厢轴承的润滑	673	10.10 生活用机械的润滑	720	
10.4.3 中心板(拨盘)的润滑	673	10.10.1 自动扶梯的润滑	720	
10.4.4 板车拖挂的润滑	674	10.10.2 电梯的润滑	721	
10.4.5 制动联动装置的润滑	674	10.10.3 摩托车的润滑	721	
10.4.6 制动气缸的润滑	675	10.10.4 自行车的润滑	726	
10.4.7 三通阀的润滑	675	10.10.5 粉碎机、磨粉机的润滑	726	
10.4.8 空气压缩机的润滑	676	10.10.6 烤炉机械的润滑	726	
10.4.9 机车的润滑	676	10.11 家用电器机械的润滑	727	
10.4.10 铁路机车柴油机油监测指标	680	10.11.1 家用电冰箱、冷冻机的润滑	727	
10.5 工程建设机械的润滑	681	10.11.2 空调设备的润滑	730	
10.5.1 工程建设机械的特点	681	10.11.3 洗衣机的润滑	732	
10.5.2 工程建设机械用润滑油(脂)的选用	681	10.11.4 电风扇(换气扇)的润滑	732	
10.5.2.1 工程建设机械用润滑剂性能	681	10.11.5 除尘器的润滑	733	
10.5.2.2 典型工程建设机械润滑剂的选用	682	10.11.6 钟表计器机械的润滑	733	
10.5.3 工程建设机械的润滑管理	690	10.11.7 缝纫机的润滑	734	
10.6 农业机械的润滑	696	10.11.8 编织机的润滑	736	
10.6.1 农业机械润滑的特点	696	11 金属加工工艺的润滑和冷却		
10.6.2 拖拉机的润滑	697	11.1 金属塑性加工的润滑和冷却	737	
10.6.3 动力机械的润滑	699	11.1.1 金属塑性加工的摩擦润滑特点	737	
		11.1.2 金属塑性加工油的作用及性能	737	
		11.1.3 油沾污及其防止	741	
		11.1.4 压延(轧制)工艺的润滑和冷却	744	
		11.1.4.1 钢铁材料压延的润滑和冷却	746	

11.1.4.2	不锈钢压延的润滑和冷却.....	752	11.1.6.2	冷锻造工艺的润滑.....	770
11.1.4.3	铝及铝合金压延的润滑和冷却.....	752	11.1.7	挤压工艺的润滑和冷却.....	770
11.1.4.4	铜及铜合金压延的润滑和冷却.....	758	11.1.7.1	钢铁材料挤压的润滑.....	771
11.1.4.5	铅锡及其合金压延的润滑和冷却.....	760	11.1.7.2	铜及铜合金挤压的润滑.....	772
11.1.4.6	锌及锌合金压延的润滑和冷却.....	760	11.1.7.3	铅、锡及其合金挤压的润滑.....	773
11.1.4.7	镁及镁合金压延的润滑和冷却.....	761	11.1.7.4	镁及镁合金挤压的润滑.....	773
11.1.4.8	镍及镍合金压延的润滑和冷却.....	761	11.1.7.5	铝及铝合金挤压的润滑.....	773
11.1.4.9	锑及锑合金压延的润滑和冷却.....	761	11.1.7.6	锌及锌合金挤压的润滑.....	774
11.1.4.10	铍及铍合金压延的润滑和冷却.....	761	11.1.7.7	钛及钛合金挤压的润滑.....	774
11.1.4.11	钽及钽合金压延的润滑和冷却.....	761	11.1.7.8	挤压或冲压用润滑剂的选择.....	774
11.1.5	拉拔工艺的润滑和冷却.....	761	11.1.8	小桶冲压的润滑和冷却.....	774
11.1.5.1	钢铁材料拉拔的润滑和冷却.....	764	11.1.9	金属塑性加工用油选择.....	776
11.1.5.2	铝及铝合金拉拔的润滑和冷却.....	765	11.2	金属切削工艺润滑和冷却.....	781
11.1.5.3	铜及铜合金拉拔的润滑和冷却.....	766	11.2.1	金属切削油(液)的作用.....	781
11.1.5.4	锡、铅及其合金拉拔的润滑和冷却.....	767	11.2.2	切削油(液)的种类、组分和性质.....	783
11.1.5.5	锌及锌合金拉拔的润滑和冷却.....	767	11.2.2.1	非水溶性切削油.....	784
11.1.5.6	镁及镁合金拉拔的润滑和冷却.....	767	11.2.2.2	水溶性切削油(液).....	786
11.1.5.7	镍及镍合金拉拔的润滑和冷却.....	767	11.2.2.3	膏状切削油.....	791
11.1.5.8	钨及钨合金拉拔的润滑和冷却.....	768	11.2.2.4	合成油系切削油(液).....	795
11.1.5.9	金、银及其合金拉拔的润滑和冷却.....	768	11.2.3	切削油用添加剂.....	795
11.1.5.10	钴、铈、铋及其合金拉拔的润滑和冷却.....	768	11.2.4	节能切削理论和切削油.....	797
11.1.5.11	钛及钛合金拉拔的润滑和冷却.....	768	11.2.5	切削油(液)的选用要领.....	799
11.1.6	锻造工艺的润滑和冷却.....	768	11.2.5.1	切削油的使用性能.....	799
11.1.6.1	热锻造工艺的润滑.....	769	11.2.5.2	切削油(液)的用法.....	801
			11.2.6	研磨油(液)的选用要领.....	801
			11.2.7	切削油(液)的管理.....	805
			11.2.7.1	质量维护和管理.....	805
			11.2.7.2	切削油(液)腐败及变质的预防.....	807
			11.2.8	切削及研磨油(液)的选用.....	812
			12 润滑管理系统工程		
			12.1	润滑管理.....	819
			12.1.1	润滑管理的目的和效果.....	819
			12.1.2	润滑管理方法.....	819
			12.1.2.1	润滑管理网络和职工	

教育	819
12.1.2.2 确切的供油(加油、换油)	820
12.1.2.3 润滑卡和润滑指示图	820
12.1.3 正确选用润滑剂	821
12.1.3.1 选定依据	821
12.1.3.2 正确选定	823
12.1.4 控制污染和防止混(串)油	824
12.1.4.1 污染的控制	824
12.1.4.2 润滑剂的标志与防止混(串)油	825
12.1.5 润滑剂的贮运管理	826
12.1.5.1 散装油品	826
12.1.5.2 桶装油(脂)	827
12.1.6 防止润滑油(脂)变质及污染	828
12.1.7 防止润滑油(脂)危害健康	833
12.1.8 润滑方法的选定	834
12.1.9 磨合期的润滑	835
12.1.10 机械的润滑油(脂)耗量计算	836
12.1.10.1 轴承用润滑油消耗量	836
12.1.10.2 齿轮用润滑油消耗量	838
12.1.10.3 气缸用润滑油消耗量	839
12.1.10.4 空气压缩机耗油量计算	839
12.1.10.5 导轨润滑器耗油量计算	841
12.1.11 机械润滑系统的冲洗	841
12.1.11.1 非自驱润滑油泵润滑系统的冲洗	841
12.1.11.2 自驱润滑油泵润滑系统的冲洗	842
12.1.11.3 新建或大修后润滑系统的冲洗	842
12.1.12 润滑事故现象及处理	843
12.1.13 废油回收及再生	845
12.2 润滑油的调合及配制	846
12.2.1 基础油的选定	846
12.2.1.1 残留润滑油组分	847

12.2.1.2 馏分油组分	847
12.2.2 添加剂的选定	847
12.2.2.1 添加剂配伍的相互关系	848
12.2.2.2 添加剂种类、用量及作用	849
12.2.3 调合(混合)工艺方法	849
12.2.3.1 间歇式调合装置	853
12.2.3.2 连续式调合装置	853
12.2.4 润滑油质量调合组分计算	855
12.2.4.1 粘度调合计算法	855
12.2.4.2 倾点调合计算法	859
12.2.4.3 闪点调合计算法	860
12.2.4.4 苯胺点调合计算法	860
12.2.5 混合油的性质变化	864
12.2.6 灌装	864
12.3 合理润滑与密封(防漏油)技术	869
12.3.1 动态密封(油封)的分类及性能	869
12.3.2 密封圈	872
12.3.2.1 成型密封圈	872
12.3.2.2 压盖密封	877
12.3.2.3 油封	879
12.3.2.4 机械密封	882
12.3.2.5 迷宫式密封	884
12.3.2.6 其他密封	884
12.3.2.7 密封材料	884

附录

1 书内代号、术语、参量单位及略语	889
2 粘度换算对照表	892
3 石油量换算(只供参考)	894
4 非燃料耗能工质热量换算(参考数)	894
5 石油产品密度概算范围(供参考)	895
6 燃料能量当量换算(概算)(供参考)	896
7 美桶、吨换算(如系200L桶,须乘以1.25786)	897
8 油耗换算	897
9 燃料平均低热值及换算值(参考数)	897
10 润滑油密度比重换算(石油同用)	898

1 绪 论

正确地使用润滑剂,进行机械设备的合理润滑,以最大限度地减少摩擦阻力、降低机械磨损,节省动力能源和延长机械使用寿命,发挥机械的最高效率。各国都十分重视加强润滑工作,提高润滑的现代化技术和管理水平,并积极开发有关科学技术,改善润滑设备,改进润滑方法。如能源资源贫乏的日本,早在70年代初就开展了“润滑现实化”工作,设立了专门机构,积极推行润滑现代化,普及到各行各业,家喻户晓。因而在科学界近年形成了一门新兴学科——摩润学(tribology)。

为便于推行合理润滑技术,以节约能源和提高效益,美、日等国都订有润滑办法或润滑法规和润滑奖惩制度,并制订了润滑考核标准,对从事润滑工作人员规定有考核标准和专业技术职称,如英国规定工科学生,要学完36学时的摩润学课程,还规定有“摩润学技术士”考试的摩润学学位制度,并在利兹(Leeds)大学设有摩润学专业,斯旺西(Swansea)大学设有摩润学工业技术课程,还在全国设有4个摩润学开发研究服务中心^[1]。

德国设有摩润学通信教育,对考试合格者授予润滑工程专家称号,各大工厂对职工规定有31学时的摩润学短期教育课程^[1]。

我国为加强合理润滑技术,以促进国民经济发展和人民生活提高,国家技术监督局已颁布了《合理润滑技术通则》国家标准 GB13608—92。

1.1 合理润滑技术与节约能源

动力能大都属于二次能源,是能源中最宝贵的。当前世界每年消耗约15亿吨汽油、柴油、喷气燃料和重油,以及大量的天然气和煤炭等^{[2][3]}。世界能源总耗量的50%~60%,消费在各种数以百亿计的动力机械上。而这些机械当前的能源有效利用率平均只有30%左右。据德国沃格甫尔(Vogelpohl)教授测算,全世界生产能源的1/3到1/2损失在摩擦磨损上^{[4][5]},近年英国焦斯特(H. P. Jost)教授指出,世界消费能源的30%~40%消耗在摩擦磨损上^[6]。也就是说全世界每年约有相当于20亿吨石油的能源白白消费在摩擦磨损中。当然,这些摩擦磨损的一部分是不可避免的,但随摩擦润滑科学技术的进步和润滑管理水平的提高,其中一部分是可以节省下来的。按当前能源消费水平推测,全世界至少有相当于10亿吨石油的能源,可以通过改善摩擦润滑节省下来。一些工业发达国家进行了大量的开发研究工作,日本通过规定省能润滑设计和操作方法及采用省能型润滑油(脂),已使机械的摩擦磨损大大降低,因而节省动力10%~20%,单是采用省能润滑油(脂),就取得了节能5%~10%的效果。

1.2 合理润滑技术与经济效益

“摩润学”(tribology)一词来自希腊文的 tribos(摩擦),比一般狭义的摩擦(fri-