

油务手册

第二分册 绝缘油

(联邦德国) 联邦德国电业联合会 王长海 译 邱长清 校

626

2

水利电力出版社

87
TE626
7
3:2

油 务 手 册

第二分册 绝 缘 油

〔联邦德国〕联邦德国电业联合会

王长海 译 邱长清 校

6232/10

水 利 电 力 出 版 社

B

331320

内 容 提 要

这套手册分第一、二两分册出版。

本分册从实用角度出发,根据联邦德国、美国等国家及国际电工委员会的现行标准和实践经验,对各种电气设备用油的安全运行和技术管理进行了详细的阐述。主要内容包括矿物油基绝缘油和合成绝缘油的生产、运输和贮存规定,废油处置和生态学问题,绝缘油的选用依据,质量检验,性能分析以及各类油品对不同电气设备结构材料和工作条件的适应性能等。

本书可供电力工业及其它有关工业部门从事绝缘油技术工作的人员使用;也可供绝缘油生产、电气设备设计、制造以及有关科研和教学人员参考。

Ölbuch

Teil 2

Isolierflüssigkeiten

6. Ausgabe 1983 VDEW

油务手册

第二分册

绝 缘 油

[联邦德国]联邦德国电业联合会

王长海译 邱长清校

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

850×1168毫米 32开本 4.25印张 101千字

1987年10月第一版 1987年10月北京第一次印刷

印数0001—3020册 定价1.20元

书号 15143·6292

序

随着电力工业的迅速发展，对用于发电设备的润滑油、绝缘油和液控油的要求愈来愈高，尤其是近年来大容量的水电、火电和核电设备的发展以及原料资源的变异，对油品又提出了各不相同的要求。因此，油务工作者必须掌握在不同情况下的油品性能和对它的要求，以保证生产运行的安全可靠和取得最佳的经济效益。

这套手册内容详尽实用。原著自初版以来已修订再版了五次，每次再版都对内容作了修改和补充，深受读者欢迎。本译文是根据原文第六版译出的，期望它能在我国的“四化”建设中起到积极作用。

这套手册的两个分册“润滑油”和“绝缘油”，分别由章德昌和王长海两位同志翻译，邱长清同志校订。在译校过程中，石油化工研究院的闫却褪均和杨大芬同志，以及水利电力部科学技术情报研究所的宋珊卿同志，分别对本手册第一分册和第二分册的专业内容进行了审阅，并提出了一些好的建议。这些同志在紧张的工作之余，以对读者负责的精神，勤恳认真地工作，经数次校核，使译文既忠实于原意，又通俗易懂，是一本较好的专业参考书。

联邦德国电业联合会及时赠予的新版手册，为翻译出版这套手册提供了有利条件。对此友好的协助，表示诚挚谢意！

徐 士 高

1985年3月

译校者的话

这套手册是在徐士高同志的建议、组织、支持和鼓励下翻译出版的。徐士高同志多年来关心电力生产用油的工作，鉴于国内缺少这方面的公开出版物，而从事油务工作的同志又十分需要参考，故极力建议将这套在国外甚受读者欢迎的手册翻译出版，供我国读者借鉴。

在这套手册的译校过程中，得到了各方面的大力支持和帮助。对于他们给予的协助，在此表示衷心的感谢！

由于我们水平所限，谬误之处在所难免，请读者批评指正。

译 校 者

1985年元月

前 言 (摘译)

为了适应工程技术水平的不断提高, 联邦德国电业联合会决定修订1974年的第5版《油务手册》。在修订版本中, 除增加一些新的章节以外, 还将对原有的某些章节增补新的内容。为此目的, 联邦德国电业联合会动力和热能经济专业委员会委托油管理工作组编写新版本的联邦德国电业联合会《油务手册》。

新的修订版《油务手册》与第5版不同, 全书分为《润滑油》和《绝缘油》两个独立分册。分成两个分册的原因, 主要是因为工业部门中主管机械和电工技术的两个部分往往是各自独立的。但就经过多年实践考验的联邦德国电业联合会《油务手册》一书来说, 这两个分册是互为补充的。

本分册将广泛地介绍从绝缘油生产到处置的整个过程。

根据撰写《油务手册》的宗旨, 本分册将以“绝缘油的应用”为重点, 其中将介绍各种有关的推荐标准及措施, 以作为油务工作中安全运行以及排除故障的指导准则。

书中还将专门叙述绝缘油工作中的卫生和生态学方面的问题, 以及各种必须遵照执行的、以现行标准为依据的安全规定。

为满足读者进一步研究某些问题的需要, 本分册汇集了大量的参考文献, 以便于读者查阅。

参加本分册编写工作的人员有油管理工作组的成员和特邀人士, 以及联邦德国电业联合会总部的成员。名单如下:

艾席勒博士 (S. Eichler) 任主编, 鲍姆盖特纳尔 (R. Baumgärtner), 拜塞 (D. Beisse), 赫尔曼 (H. Herrmann), 希尔德布兰德 (M. Hildebrand), 雅可布森博士 (P. Jacobsen), 克利帕尔博士 (G. Klippel), 科奇尼哥 (J. Kotschnigg), 克罗恩 (R. Kron), 库格勒 (H. Kugler), 莫耳曼博士 (A. Möll-

mann), 缪勒博士 (K. Müller), 鲁耳曼 (R. Ruhlmann), 施利辛博士 (H. Schliesing), 施密特 (H. J. Schmidt), 施努尔布士博士 (K. Schnurrbusch), 索尔德纳尔 (K. Soldner), 左莫尔 (E. Sommer), 左尔达梯克司博士 (E. Szoldatics), 瓦格纳 (E. Wagner)。

在这里, 谨向参加本分册编写工作的所有人士及大力支持并做出重要贡献的各个部门致以谢意。敬请广大读者提出您的实践经验、修订建议及批评意见, 以促进联邦德国电业联合会总部考虑今后修订再版。

联邦德国电业联合会

目 录

序

译校者的话

前言 (摘译)

第一章 矿物油基绝缘油	1
1.1 特性	1
1.1.1 石油的生成	1
1.1.2 石油的组成成分	1
1. 烷烃	1
2. 环烷烃	2
3. 链烯烃 (非饱和化合物)	3
4. 芳香烃	3
5. 杂环化合物	3
1.2 生产	4
1.2.1 蒸馏	4
1.2.2 精炼	4
1. 溶剂萃取	5
2. 氢化方法	5
3. 硫酸精炼	6
4. 漂白土处理法	6
1.2.3 脱蜡	6
1. 溶剂脱蜡	6
2. 尿素脱蜡	6
1.2.4 绝缘油类型	7
1. 环烷基绝缘油	7
2. 烷烷基绝缘油	7
3. 嗜气 (耐气) 型和析气型绝缘油	8
4. 加有合成抗老化剂的绝缘油	8

(1)经过抑制的绝缘油	8
(2)经过钝化的绝缘油	8
1.3 运输和贮存	9
1.3.1 运输容器	9
1.运输容器的结构特点	9
2.容器的清洗	10
3.向运输容器内注油和对其封闭	10
4.保持预干燥状态的措施	10
1.3.2 供货和运输规程, 到货验收	11
1.3.3 用油部门的贮存	11
1.3.4 有关当局的规定	12
1.4 要求	12
1.4.1 新油	12
1.4.2 工作油	15
1.4.3 检验项目的经济性	15
1.4.4 废油	15
1.5 检验 (定义和方法简介)	15
1.5.1 新油的取样	15
1.油样类型	16
2.抽取单一油样的位置	16
3.取样装置	16
4.油样数量	16
5.取样方法	16
(1)从铁路油罐车和公路油罐车及其它容器中取 样	16
(2)从油桶中 取 样	17
6.油样容器	17
1.5.2 绝缘油的一般检验项目	17
1.透明度 (外观)	17
2.密度	17
3.运动粘度	18
4.在密闭坩埚内的闪点	19
5.酸值	20

6. 腐蚀性硫	21
7. 击穿电压	21
8. 介电损失系数	22
9. 抗老化性能[巴德 尔 (Baader) 法]	22
10. 抗氧化安定性	23
1.5.3 特殊检验项目	23
1. 皂化值	23
2. 油泥含量 (工作油)	24
3. 水分含量的测定[菲舍 尔 (Fischer) 法]	24
4. 色值	25
5. 倾点	26
6. 折射率	26
7. 气体含量	26
(1) 油中气体的分析	28
(2) 气体继电器的气体分析	30
8. 红外光谱分析法	33
9. 碳素分布	33
10. 抑制剂含量	35
11. 绝缘油在电场中的溶气特性 (耐气性)	35
第二章 合成绝缘液	36
2.1 “阿斯克雷 尔” (Askarel)	36
2.1.1 性能	36
2.1.2 生产	37
2.1.3 运输和贮存	38
2.1.4 要求	39
2.1.5 检验	39
1. 抽取试样	39
2. 一般检验项目	39
3. 特殊检验项目	40
(1) 倾点	40
(2) 燃点	42
(3) 无机氯化物	42
(4) 可水解氯	42

(5) 热稳定性	43
(6) 净化剂当量	43
(7) 五氯联苯及更高氯化度的同系物	44
(8) 烃类杂质	46
2.2 硅酮液	46
2.2.1 性能	46
2.2.2 生产	47
2.2.3 运输和贮存	49
2.2.4 要求	49
2.2.5 检验	50
1. 取样	50
2. 一般检验项目	50
3. 特殊检验项目	50
(1) 水分含量	50
(2) 红外光谱法定性检验	51
2.3 其它绝缘液	52
2.3.1 概述	52
2.3.2 烷基苯和聚丁烯的生产	52
1. 烷基苯	52
2. 聚丁烯	53
2.3.3 对烷基苯和聚丁烯的要求	53
2.3.4 三甲醇基丙烷和季戊四醇型酯	55
第三章 绝缘液的检验与维护	56
3.1 监督	56
3.1.1 概要	56
3.1.2 监督试验的时间间隔	57
3.1.3 从电气设备中采取绝缘液及其释放气体试样	57
1. 绝缘液	57
2. 气体	59
(1) 从气体继电器中抽取气样	59
(2) 试样标签	61
3.1.4 检验目的及其结果的评价	61
1. 一般检验项目	62

(1)透明度(外观)	62
(2)密度	62
(3)运动粘度	62
(4)闪点	62
(5)酸值	62
(6)腐蚀性硫	63
(7)击穿电压	63
(8)介电损失系数	63
(9)皂化值	63
(10)油泥含量	63
2.特殊检验项目	64
(1)水分	64
(2)色值	64
(3)气味	64
(4)油炭黑	64
(5)气体含量	65
(6)油中气体分析	65
(7)判据	66
(8)气体继电器中气体的检验	68
3.鉴定书的制定	71
(1)检验记录	71
(2)统计分析	71
3.2 矿物油基绝缘油	71
3.2.1 老化	71
3.2.2 预防性措施	73
1.密闭的空气隔离层	73
2.空气除潮	73
(1)呼吸器	73
(2)空气循环干燥	73
3.干燥剂	74
4.补加抑制剂	74
3.2.3 维护	75
3.2.4 再生	78
3.2.5 补加绝缘油	78

3.3	合成绝缘液	78
3.3.1	概述	78
1.	抗燃绝缘油	79
2.	硅酮液	79
3.	换充其它绝缘液	80
3.3.2	监督和维护	81
3.4	对各种电气设备的要求	81
3.4.1	变压器和测量互感器	81
1.	变压器	82
(1)	绝缘问题	82
(2)	变压器的干燥方法和注入绝缘油前的准备措施	85
2.	测量互感器	89
3.4.2	电容器	90
3.4.3	开关设备	91
3.4.4	电缆	92
第四章	结构材料与绝缘液的相容性	93
4.1	概述	93
4.2	典型的结构材料	93
4.2.1	金属和金属合金	93
4.2.2	纤维材料	93
4.2.3	硅酸盐类材料	93
4.2.4	弹性体材料	95
4.2.5	导线绝缘漆和包覆层	95
4.2.6	浸渍漆、铸模树脂	95
第五章	绝缘液使用中的卫生和生态问题	96
5.1	概述	96
5.2	矿物油基绝缘油	97
5.3	合成绝缘液	98
5.3.1	抗燃绝缘油	98
5.3.2	硅酮液	100
第六章	绝缘液的处置	102
6.1	矿物油基绝缘油	102

6.1.1	旧油处置法规	102
6.1.2	旧油的处理	102
6.1.3	旧油的燃烧	102
6.2	合成绝缘液	102
6.2.1	抗燃绝缘油的处置	102
6.2.2	硅酮液的处置	103
第七章	标准	105
7.1	DIN-标准——联邦德国工业标准	105
7.2	DIN-标准/VDE-规范——联邦德国工业标准/联邦 德国电工联合会规范	105
7.3	IEC-出版物——国际电工委员会出版物	106
7.4	DIN/IEC-标准/VDE-规范	106
7.5	ASTM/ISO-标准——美国材料试验学会/国际标准 化组织标准	106
参考文献		110

第一章 矿物油基绝缘油

电工技术中应用的绝缘油，主要是石油制品。

1.1 特 性

1.1.1 石油的生成

石油系由沉积在海底的动植物，在海洋条件的作用下，经过千百万年的漫长转化过程生成的，是多种碳氢化合物的混合物。这一由有机物转化为碳氢化合物的过程，是在细菌、压力及温度等条件作用下完成的。石油中的各种化合物具有动植物成分的典型特征，证明了这一理论的正确性。石油逐渐地移集到孔隙性岩层（二次储油构造）中，并从这里被开采出来^[1]。

1.1.2 石油的组成成分

石油的组分主要是烃类化合物。石油大致可分为两大类：

烷烃基石油；

环烷烃基石油。

介于两者之间者，尚有一类难以区分究竟是烷烃基还是环烷烃基的油种，即混合基石油。但根据其组分多少的不同，基本上也可划分为烷烃基油或环烷烃基油。

这种分类方法，是依石油的组分，即根据石油中的烃类化合物中占主导地位的基本类型划分的。

1. 烷 烃

烷烃是一类饱和的直链和支链烃化合物。当碳原子数相同时，直链烃与支链烃相比，前者的熔点较高（见图1和2）。

烷烃是化学反应缓慢的化合物。在正常条件下，含碳原子少（ C_4 以下）的烷烃呈气态，中等数目的呈液态，多的呈固态。

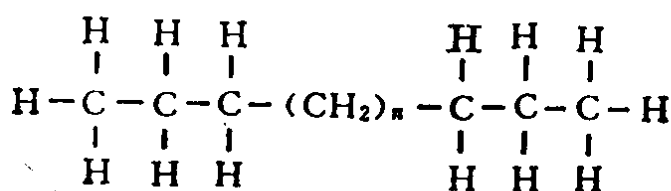


图 1 直链正烷烃

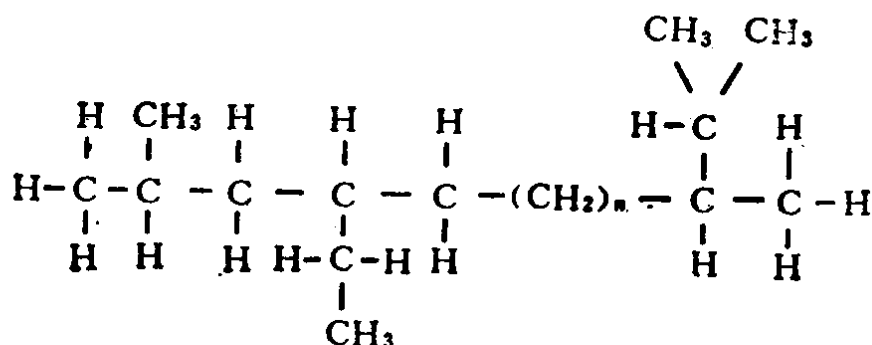


图 2 支链异烷烃

具有同样原子数，但不同结构的烷烃称为异构体烷烃。随着碳原子数目的增多，其构成异构体烷烃的数目也急剧增长。

烷烃中含有 C_4 （丁烷）时，仅可能构成两种异构体烷烃，当含有 C_{20} （二十烷）时，可能构成的异构体烷烃，多达 36 万种以上。

2. 环烷烃

环烷烃是饱和的 5 环和 6 环烃类化合物，依其分子量的不同，可能会带有烷烃侧链（图 3），也有可能在一个分子中，有若干个饱和环，它们带有与烷烃链相连接的侧链。这类分子中具有

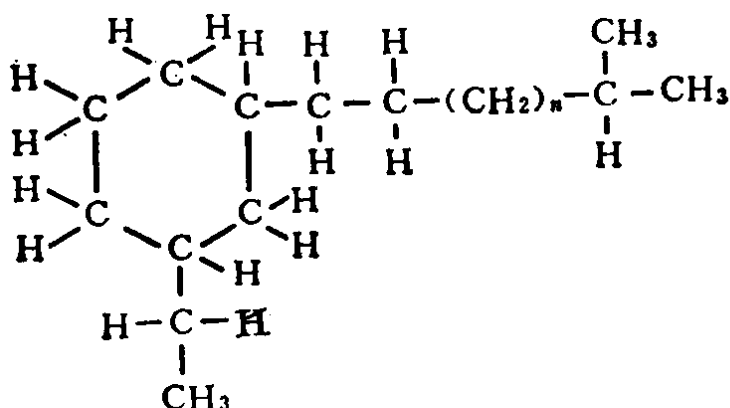


图 3 有烷烃链的环己烷

烷烃特性的强弱,决定于分子中环烷烃环数多于烷烃侧链的程度。

3. 链烯烃 (非饱和化合物)

如果烷烃和环烷烃的氢原子数不足, 则其碳原子的四个键就不都是饱和的。相邻的两个碳原子之间, 有一个双键 (图 4)。

由于这类化合物为双键结构, 故化学稳定性比烷烃低, 称为链烯烃。

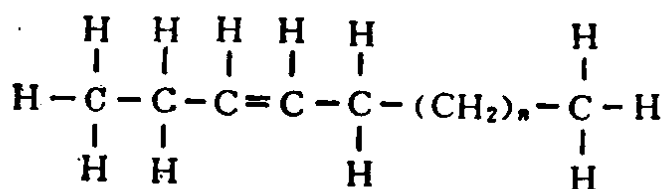


图 4 双键结构示例

4. 芳香烃

所有石油中都含有芳香族化合物, 它们是由苯和少量的缩合环 (如萘) 衍生而成的。

芳香烃与链烯烃一样, 也是非饱和化合物。

但是, 由于芳香烃的环为共轭双键结构, 所以芳香烃在化学特性上比链烯烃稳定一些。

与环烷烃相同, 芳香烃也可能有侧链。在一个芳香烃分子中可能有几个芳核, 通过烷烃链彼此相连。如果某一类芳香烃的一个分子的芳核比另一类多, 则此类分子的芳香属性总是更为明显。

在同一分子中, 环烷烃环、烷烃链和芳香环也可能是同时相互连接的 (图 5)。

5. 杂环化合物

石油中除纯烃类成分外, 还有杂环化合物。这是一类含有碳、氢, 以及硫、氮或氧的化合物, 其中既有延缓油的化学特性变化 (老化) 的成分, 即固有抑制剂, 也有加速其变化的成分。

此外, 石油中, 尤其是环烷烃基石油中, 还可能含有某些有机酸 (环烷酸)。