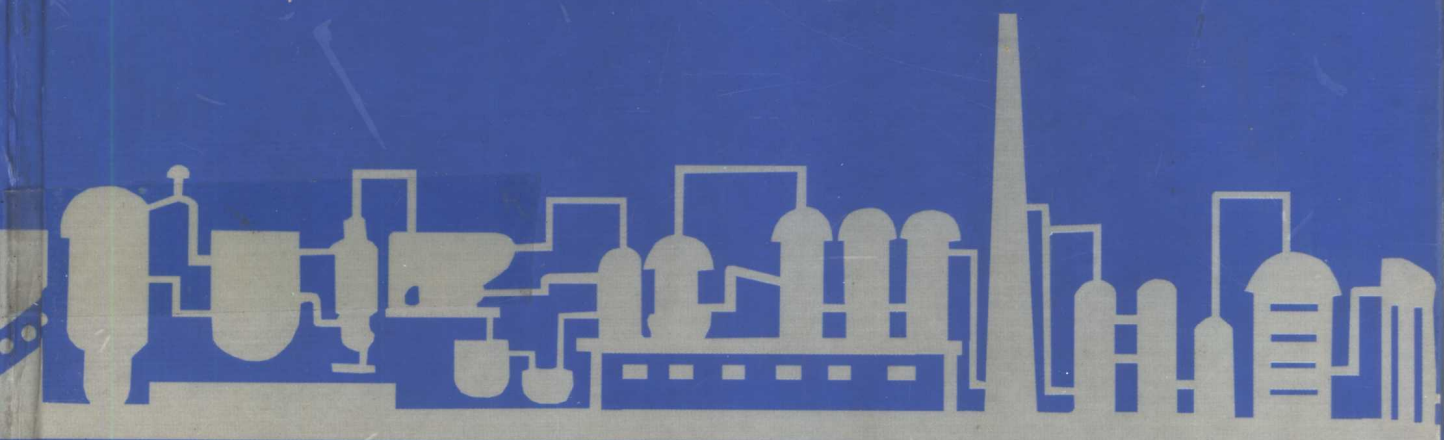


LIUSUAN
GONGZUO
SHOUCE

硫酸工作手册

刘少武 齐 焉
等编著
刘 东 刘翼鹏



东南大学出版社

硫酸工作手册

刘少武 齐 焉 等编著
刘 东 刘翼鹏

东南大学出版社
· 南 京 ·

内 容 提 要

《硫酸工作手册》是我国硫酸行业第一部主要的工具书。全书共 8 篇 45 章。它总结了我国 50 年来硫酸设计、建设、生产、科研和使用管理的经验。着重介绍了硫酸的最新生产工艺和操作、设备和施工检验、硫铁矿制酸、冶炼烟气制酸、硫磺制酸、磷石膏制酸、废酸回收利用、环保技术、防腐材料、硫酸性质和用途、硫酸产品规格和物化数据、硫酸储存和运输等内容。

《硫酸工作手册》收集了大量的数据和实例。列举了各种生产工艺和流程、各种工艺和产品规模的设备配置等。以年产规模 4 万吨硫酸系统为样本,全套装置的物料衡算、热量衡算、设备能力计算等,贯穿在全书的有关章节。详细介绍了硫酸装置的开停车方法、操作调节方法和各种事故处理方法等。本书是一本理论密切联系实际、深入浅出、全面系统、简明准确、实用性非常强的书。

本手册主要是供从事硫酸生产工作的工程技术人员和管理干部、设计人员、科研人员、技术工人、大专院校无机化工专业师生使用,也可供一般化工企业工程技术人员和大专院校化工专业师生的参考。

图书在版编目(CIP)数据

硫酸工作手册/刘少武编著. —南京:东南大学出版社, 2001. 2

ISBN 7-81050-742-7

I. 硫… II. 刘… III. 硫酸—技术手册
IV. TQ111.1-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 73872 号

东南大学出版社出版发行
(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:宋增民

江苏省新华书店经销 通州市印刷总厂印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:80.75 字数:2067 千字

2001 年 4 月第 1 版 2001 年 4 月第 1 次印刷

印数:1-3200 定价:200.00 元

(凡因印装质量问题,可直接向发行科调换,电话:025-3792327)

编 者 的 话

《硫酸工作手册》是我国广大硫酸工作者期盼已久的,由我国自己编著出版的第一部硫酸工作者的工具书。20 世纪 40 年代后,我国一直沿用苏联、日本等国家的硫酸手册。为使我国硫酸工作者,能紧密结合我国实际,使用我国自己的硫酸手册,国内一些老的硫酸专家曾在 1960 年、1978 年、1992 年,三度发起组编《硫酸工作手册》,均因种种原因未成。

1996 年 1 月始,由刘少武、齐焉两同志牵头,组织了刘东、刘翼鹏、赵树起、邓志坚、沈粹卿、陆懋筠等 8 位工程师进行执笔编纂,经过连续 4 年的奋战,现终于正式出版发行。

《硫酸工作手册》的数据资料,绝大部分是从我国硫酸生产实践总结出来的,是从设计、科研、设备制造安装及紧密相关的实践中总结出来的。既总结了现代化大工业生产、又总结了乡镇企业小厂的详尽资料。重点总结了硫铁矿制酸、硫磺制酸、有色烟气制酸、石膏制酸等方法的工艺技术,设备规格、结构、材质,工艺设备计算和选定,设计使用的一般数据,生产控制条件和操作方法,设备安装验收、调试方法等。总结了与硫酸产品相联的液体 SO_2 、液体 SO_3 、废硫酸处理等的生产技术和利用技术。总结了硫酸生产和使用、储运过程中的防护技术和安全注意事项等。因此,本“手册”实用性很强。

《硫酸工作手册》的编写,是本着深入浅出、简单清楚、以数据和图样表述为主的原则。内容是考虑给从事硫酸工业工作的方方面面的同志使用的,故内容比较宽广。重点是供生产、设计、科研开发、大专院校、设备制造安装单位使用的,其次是供从事硫酸经营和使用硫酸产品的同志使用的。

《硫酸工作手册》所录用的资料以国内为主,国外资料一般作为参照对比,部分地加以录用。主要参考和收录的资料有:《硫酸生产技术》、《硫酸工艺设备计算和选定》、历年《硫酸工业》、《接触法硫酸工艺设计常用参考资料选编》、《化工工艺设计手册》、苏联《硫酸工作者手册》、日本《硫酸手册》等。在此,表示致谢!《硫酸工作手册》在编写工作中得到了林乐、武希彦、赵增泰、叶树兹、郑冲、张凤梅、王鸣秋、丁明文、邓志坚、郭定松、王茂林、鲁一丽、沈玉红、刘原、杨履初、蒋华中、彭信溪、朱肇琪、张元庆、张紫芳、周学军、张元松、张以强、王维业、武乔章、陈福祥、刘永慧、徐会建、武雪梅、王海帆、陈复生、丁汝斌等同志的积极支持和帮助,在此一并表示真诚的谢意!

由于《硫酸工作手册》编写的时间跨度近 12 年,又都是利用业余时间编写的;另因资料收集的困难和参加编写人员的水平所限,书中差错在所难免,故请广大读者、专家、学者不吝赐教,给予指正,谢谢!

编 者

2000 年 4 月

目 录

第一篇 硫酸、硫、硫化物、空气和水的性质及元素周期表	(1)
第一章 硫酸和发烟硫酸	(1)
第一节 物理性质	(1)
第二节 化学性质	(42)
第二章 硫	(46)
第一节 物理性质	(46)
第二节 化学性质	(61)
第三章 硫化物	(65)
第一节 二氧化硫	(65)
第二节 三氧化硫	(84)
第三节 常见硫化物	(91)
第四节 硫酸盐	(96)
第五节 亚硫酸铵——亚硫酸氢铵——硫酸铵	(104)
第四章 空气、水、常用气体和几种常用材料参数及元素周期表	(112)
第一节 空气	(112)
第二节 水和水蒸气	(115)
第三节 常用气体和物质材料参数及元素周期表	(120)
第五章 常用物性数据的数学模型	(129)
第一节 硫酸和发烟硫酸的数学模型	(129)
第二节 二氧化硫的数学模型	(133)
第三节 有关气体和水的数学模型	(134)
第二篇 耐硫酸腐蚀的材料与性能	(137)
第六章 金属材料	(137)
第一节 铸铁材料和碳素钢	(137)
第二节 铅、铝的耐硫酸腐蚀特性	(141)
第三节 合金材料	(143)
第四节 不锈钢材料	(146)
第五节 硫酸用不锈钢的新发展	(165)
第六节 耐硫酸腐蚀材料的选用	(178)
第七章 非金属材料	(182)
第一节 无机材料	(182)
第二节 有机材料	(197)
第三篇 硫酸生产工艺	(217)
第八章 硫酸生产方法	(217)
第一节 硫酸生产的发展史和方法概述	(217)

第二节	亚硝基法生产流程	(221)
第三节	接触法生产流程	(223)
第九章	硫酸生产的原料和原料的预处理	(246)
第一节	生产硫酸用的原料产地和性质	(246)
第二节	生产硫酸原料的预处理	(259)
第十章	二氧化硫气体的制取	(273)
第一节	焙烧硫铁矿	(273)
第二节	硫磺的焚烧	(371)
第三节	石膏的煅烧	(389)
第四节	冶炼烟气	(407)
第五节	废硫酸和含硫工业废料	(414)
第六节	硫化氢燃烧	(416)
第十一章	炉气净化	(418)
第一节	炉气净化原理	(418)
第二节	炉气净化的基本方法和机理	(425)
第三节	炉气净化的工艺流程	(444)
第四节	炉气净化的操作	(448)
第五节	炉气净化工艺的计算	(459)
第十二章	二氧化硫气体的转化	(509)
第一节	二氧化硫气体转化的物化原理	(509)
第二节	二氧化硫气体转化用的触媒	(518)
第三节	SO ₂ 气体转化的工艺流程	(526)
第四节	SO ₂ 气体转化的操作指标和操作方法	(531)
第五节	转化不正常情况、原因和处理方法	(543)
第六节	SO ₂ 气体转化的工艺计算	(547)
第十三章	三氧化硫的吸收	(612)
第一节	SO ₃ 吸收过程的原理	(612)
第二节	干吸岗位工艺流程	(621)
第三节	干吸岗位的操作方法	(626)
第四节	干吸岗位工艺计算	(633)
第五节	稀硫酸浓缩的工艺和流程	(682)
第十四章	尾气处理及硫酸系统核算	(684)
第一节	氨-酸法回收尾气中的 SO ₂	(684)
第二节	石灰乳法处理尾气中 SO ₂	(706)
第三节	柠檬酸钠法回收尾气中 SO ₂	(707)
第四节	其他处理尾气中 SO ₂ 的方法	(711)
第五节	硫酸系统技术经济指标和核算办法	(717)
第四篇	硫酸生产设备	(725)

第十五章	矿、渣、酸的储运设备	(725)
第一节	矿、渣的储运设备	(725)
第二节	硫酸的储运设备	(742)
第十六章	矿石破碎、筛分、干燥设备	(744)
第一节	矿石破碎机械	(744)
第二节	筛分机械	(755)
第三节	干燥机、浓缩器	(757)
第十七章	矿石焙烧设备和除尘、除热设备	(762)
第一节	矿石焙烧炉	(762)
第二节	除尘设备	(782)
第三节	除热设备	(809)
第十八章	洗涤、干燥、吸收设备	(831)
第一节	塔和循环槽、沉淀槽	(831)
第一节	文氏管和动力波洗涤器	(885)
第三节	除雾沫设备	(892)
第十九章	转化器	(910)
第一节	轴向固定床转化器	(910)
第二节	径向固定床转化器	(915)
第三节	沸腾床转化器	(917)
第四节	非稳态转化器	(919)
第五节	转化保温材料、保温方法	(922)
第二十章	换热器	(925)
第一节	气—气换热器(高效型)	(925)
第二节	气—液换热器	(931)
第三节	液—液换热器	(936)
第四节	电炉	(954)
第二十一章	泵、鼓风机	(958)
第一节	泵、鼓风机的选择	(958)
第二节	浓酸泵	(971)
第三节	稀酸泵	(984)
第四节	锅炉给水泵、循环泵	(989)
第五节	鼓风机	(992)
第二十二章	一般硫酸装置的设备规格、材质	(999)
第一节	硫铁矿制酸	(999)
第二节	硫磺制酸	(1006)
第三节	冶炼烟气制酸	(1011)
第四节	石膏制酸	(1018)
第二十三章	硫酸生产用管道、管件、阀门	(1020)
第一节	金属管道与管件	(1020)

第二节 非金属管道与管件、阀门·····	(1053)
第二十四章 电器、仪表计器和自控调节装置·····	(1085)
第一节 电器 ·····	(1085)
第二节 仪表计器和遥控、自调系统·····	(1086)
第五篇 废酸回收利用、酸水和酸泥处理 ·····	(1100)
第二十五章 循环冷却水、废酸回收利用·····	(1100)
第一节 循环冷却水 ·····	(1100)
第二节 废酸回收利用 ·····	(1102)
第二十六章 酸水和酸泥处理 ·····	(1111)
第一节 酸水排放量和酸水的水质 ·····	(1111)
第二节 酸水和酸泥处理 ·····	(1112)
第六篇 硫酸设备和系统装置的施工、验收、试车的技术检验 ·····	(1131)
第二十七章 材料、设备的检验及管理·····	(1131)
第一节 一般规定 ·····	(1131)
第二节 材料与设备检验 ·····	(1132)
第三节 材料与设备管理 ·····	(1132)
第四节 设备基础与安装工程的一般规定 ·····	(1133)
第二十八章 焙烧炉工程 ·····	(1135)
第一节 炉(窑)壳装配 ·····	(1135)
第二节 沸腾炉部件安装 ·····	(1135)
第三节 矿渣熄灭器(增湿器)、滚筒冷却器和输送机安装与试车·····	(1136)
第二十九章 气体净化设备 ·····	(1137)
第一节 机械除尘器制造安装 ·····	(1137)
第二节 热电除尘器制造安装 ·····	(1137)
第三节 电除雾器制造、安装·····	(1139)
第四节 整流机组安装 ·····	(1141)
第五节 文式管安装 ·····	(1141)
第三十章 硫酸塔工程 ·····	(1143)
第一节 壳体制作及安装 ·····	(1143)
第二节 铺铅(或软塑料)工程 ·····	(1143)
第三节 填料及附件安装 ·····	(1144)
第三十一章 二氧化硫鼓风机及酸泵安装工程 ·····	(1145)
第一节 鼓风机检验及安装 ·····	(1145)
第二节 鼓风机试车 ·····	(1146)
第三节 酸泵安装与试车 ·····	(1147)
第三十二章 热交换器、转化器工程·····	(1148)
第一节 热交换器制作安装 ·····	(1148)
第二节 转化器制作安装 ·····	(1148)
第三节 触媒填装 ·····	(1149)

第三十三章 管道、酸冷却器工程	(1150)
第一节 铅制气体管道	(1150)
第二节 铅制酸管道	(1150)
第三节 钢板管道及管体内衬	(1150)
第四节 硬聚氯乙烯管及玻璃钢管	(1151)
第五节 浓酸管道及喷淋冷却器	(1151)
第六节 管壳冷却器、板式冷却器、螺旋冷却器与稀酸冷却器	(1152)
第三十四章 大型储酸罐工程	(1153)
第三十五章 筑炉工程	(1154)
第三十六章 耐酸防腐工程	(1156)
第一节 一般规定	(1156)
第二节 水玻璃胶结料的耐酸工程	(1157)
第三节 沥青胶结料的耐酸工程	(1157)
第四节 衬砌耐酸砖、板.....	(1158)
第五节 手糊玻璃钢设备和衬里	(1159)
第六节 橡胶衬里设备	(1163)
第七节 软塑料衬里设备	(1167)
第八节 基础与地坪防腐工程	(1167)
第九节 耐酸涂料和喷铝	(1168)
第三十七章 试车	(1169)
第一节 一般规定和单体设备试车	(1169)
第二节 联动试车与烘炉	(1169)
第三节 化工试车	(1171)
第三十八章 工程验收	(1173)
第三十九章 安全技术	(1175)
第一节 一般规定	(1175)
第二节 施工安全	(1175)
第三节 烘炉与试车安全	(1176)
第四十章 设备包装、运输的检验规定	(1177)
第四十一章 硫酸工程常用主要材料的技术条件	(1178)
第一节 常用主要金属材料、非金属材料的技术指标.....	(1178)
第二节 防腐砖板衬里主要原材料的质量要求	(1180)
第三节 常用耐酸胶泥配方及技术指标	(1183)
第四节 常用耐火材料的技术指标	(1183)
第五节 常用耐酸涂料和垫片的技术指标	(1184)
第六节 玻璃钢原材料要求	(1184)
第七节 玻璃钢胶液施工参考配合比	(1188)
第八节 橡胶板、橡胶溶剂油规格和使用范围.....	(1189)
第九节 填料环允许偏差及特性指标	(1191)

第十节 塑料管与焊条技术指标	(1195)
第十一节 喷镀的铝材和试漏酚酞液	(1196)
第七篇 硫酸的用途、品种和质量标准、储运	(1197)
第四十二章 硫酸的用途、品种和质量标准	(1197)
第一节 硫酸用途	(1197)
第二节 硫酸的品种和质量标准	(1220)
第四十三章 硫酸的储运和装卸	(1227)
第一节 硫酸的危害性	(1227)
第二节 硫酸的火灾和爆炸	(1230)
第三节 硫酸储运和装卸的注意事项	(1230)
第八篇 硫酸生产环境和劳动保护	(1240)
第四十四章 硫酸排放标准	(1240)
第一节 排放标准	(1240)
第四十五章 硫酸生产的劳动保护	(1244)
第一节 生产环境标准和卫生设施设计规定	(1244)
第二节 防毒措施	(1250)
第三节 防尘措施	(1263)
第四节 防噪声措施	(1269)
第五节 防暑降温措施	(1273)
第六节 安全教育培训	(1280)

第一篇 硫酸、硫、硫化物、空气和水的性质及元素周期表

第一章 硫酸和发烟硫酸

第一节 物理性质

一、硫酸和发烟硫酸溶液的各种浓度关系(表 1-1)

表 1-1 硫酸和发烟硫酸溶液的各种浓度关系(20℃)

H ₂ SO ₄		发烟硫酸中游离 SO ₃				密 度 (g/cm ³)
质量(%)	浓度(g/L)	游 离 量 质量(%)	总 量			
			质量(%)	浓度(g/L)	mol(%)	
1 ^②	10.05	-440.0 ^①	0.816 ^②	8.202	0.185	1.005 1
2	20.24	-435.5	1.633	16.52	0.373	1.011 8
3	30.55	-431.1	2.45	24.95	0.562	1.018 4
4	41.00	-426.6	3.265	33.47	0.755	1.025 0
5	51.59	-422.2	4.08	42.10	0.949	1.031 7
6	62.30	-417.7	4.90	50.89	1.146	1.038 4
7	73.17	-413.3	5.71	59.67	1.346	1.045 3
8	84.18	-408.8	6.53	68.70	1.548	1.052 2
9	95.32	-404.4	7.35	77.84	1.753	1.059 1
10	106.6	-400.0	8.16	86.99	1.96	1.066 1
11	118.0	-395.5	8.98	96.36	2.17	1.073 1
12	129.6	-391.1	9.80	105.9	2.38	1.080 3
13	141.4	-386.6	10.61	115.4	2.61	1.087 4
14	153.3	-382.2	11.43	125.1	2.82	1.094 7
15	165.3	-377.7	12.24	134.9	3.05	1.102 0
16	177.5	-373.3	13.06	144.9	3.28	1.109 4
17	189.9	-368.9	13.88	155.0	3.50	1.116 8
18	202.4	-364.4	14.69	165.2	3.73	1.124 3
19	215.0	-360.0	15.51	175.5	3.98	1.131 8
20	227.9	-355.5	16.33	186.1	4.21	1.139 4
21	240.9	-351.1	17.14	196.6	4.45	1.147 1
22	254.1	-346.6	17.96	207.4	4.70	1.154 8
23	267.4	-342.2	18.78	218.3	4.95	1.162 6
24	280.9	-337.7	19.59	229.3	5.19	1.170 4
25	294.6	-333.3	20.41	240.5	5.46	1.178 3
26	308.4	-328.9	21.22	251.6	5.71	1.186 3
27	322.4	-324.4	22.04	263.3	5.97	1.194 2
28	336.6	-320.0	22.86	274.9	6.25	1.202 3
29	351.0	-315.5	23.67	286.4	6.53	1.210 4
30	365.6	-311.1	24.49	298.4	6.81	1.218 5

续表 1-1

H ₂ SO ₄		发烟硫酸中游离 SO ₃				密 度 (g/cm ³)
质量(%)	浓度(g/L)	游 离 量 质量(%)	总 量			
			质量(%)	浓度(g/L)	mol(%)	
31	380.3	-306.6	25.31	310.4	7.09	1.226 7
32	395.2	-302.2	26.12	322.6	7.37	1.234 9
33	410.3	-297.7	26.94	334.8	7.66	1.243 2
34	425.5	-293.3	27.75	347.3	7.95	1.251 5
35	441.0	-288.9	28.57	360.0	8.26	1.259 9
36	456.6	-284.4	29.39	372.8	8.56	1.268 4
37	472.5	-280.0	30.20	385.6	8.87	1.276 9
38	488.5	-275.5	31.02	398.8	9.19	1.285 4
39	504.7	-271.1	31.84	412.0	9.52	1.294 1
40	521.1	-266.6	32.65	425.4	9.83	1.302 8
41	537.8	-262.2	33.47	439.1	10.17	1.311 6
42	554.6	-257.8	34.29	452.6	10.51	1.320 4
43	571.6	-253.3	35.10	466.5	10.85	1.329 4
44	588.9	-248.9	35.92	480.7	11.20	1.338 4
45	606.4	-244.4	36.73	495.0	11.54	1.347 6
46	624.2	-240.0	37.55	509.5	11.91	1.356 9
47	642.2	-235.5	38.37	524.2	12.29	1.366 3
48	660.3	-231.1	39.18	539.0	12.66	1.375 7
49	678.8	-226.6	40.00	554.1	13.05	1.385 3
50	697.6	-222.2	40.82	569.5	13.43	1.395 1
51	716.5	-217.8	41.63	584.9	13.82	1.404 9
52	735.7	-213.3	42.45	600.6	14.24	1.414 8
53	755.2	-208.9	43.26	616.5	14.64	1.424 9
54	774.9	-204.4	44.08	632.6	15.06	1.435 0
55	794.8	-200.0	44.90	648.9	15.50	1.445 3
56	815.2	-195.5	45.71	665.5	15.93	1.455 7
57	835.7	-191.1	46.53	682.2	16.37	1.466 2
58	856.5	-186.6	47.35	699.2	16.82	1.476 7
59	877.6	-182.2	48.16	716.4	17.28	1.487 4
60	898.9	-177.8	48.98	733.8	17.74	1.498 2
61	920.6	-173.3	49.79	751.5	18.23	1.509 1
62	942.4	-168.9	50.61	769.3	18.73	1.520 0
63	964.5	-164.4	51.43	787.3	19.22	1.531 0
64	986.9	-160.0	52.24	805.6	19.76	1.542 1
65	1 010	-155.5	53.06	824.1	20.26	1.553 3
66	1 033	-151.1	53.88	842.9	20.81	1.564 6
67	1 056	-146.7	54.09	861.9	21.35	1.576 0
68	1 079	-142.2	55.51	881.1	21.92	1.587 4
69	1 103	-137.8	56.33	900.6	22.49	1.598 9
70	1 127	-133.3	57.14	920.2	23.08	1.610 5
71	1 152	-128.9	57.96	940.2	23.68	1.622 1
72	1 176	-124.4	58.77	960.3	24.28	1.633 9
73	1 201	-120.0	59.59	980.6	24.93	1.645 6
74	1 226	-115.5	60.41	1 001	25.56	1.657 4
75	1 252	-111.1	61.22	1 022	26.24	1.669 2
76	1 278	-106.7	62.04	1 043	26.91	1.681 0
77	1 303	-102.2	62.86	1 064	27.61	1.692 7
78	1 329	-97.8	63.67	1 085	28.32	1.704 3
79	1 355	-93.3	64.49	1 106	29.06	1.715 8
80	1 382	-88.9	65.31	1 128	29.81	1.727 2

续表 1-1

H ₂ SO ₄		发烟硫酸中游离 SO ₃				密 度 (g/cm ³)
质量(%)	浓度(g/L)	游 离 量 质量(%)	总 量			
			质量(%)	浓度(g/L)	mol(%)	
81	1 408	-84.4	66.12	1 149	30.58	1.738 3
82	1 434	-80.0	66.94	1 171	31.37	1.749 1
83	1 460	-75.5	67.75	1 192	32.18	1.759 4
84	1 486	-71.1	68.57	1 213	33.01	1.769 3
85	1 512	-66.7	69.39	1 234	33.87	1.778 6
86	1 537	-62.2	70.20	1 255	34.75	1.787 2
87	1 562	-57.8	71.02	1 275	35.65	1.795 1
88	1 586	-53.3	71.84	1 295	36.57	1.802 2
89	1 610	-49.9	72.65	1 314	37.52	1.808 7
90	1 633	-44.4	73.47	1 333	38.50	1.814 4
91	1 656	-40.0	74.28	1 352	39.51	1.819 5
92	1 678	-35.6	75.10	1 370	40.55	1.824 0
93	1 700	-31.1	75.92	1 388	41.61	1.827 9
94	1 721	-26.7	76.73	1 405	42.71	1.831 2
95	1 742	-22.2	77.55	1 422	43.84	1.833 7
96	1 762	-17.8	78.37	1 438	45.01	1.835 5
97	1 781	-13.3	79.18	1 454	46.20	1.836 4
98	1 799	-8.9	80.00	1 469	47.43	1.836 1
99	1 816	-4.4	80.82	1 482	48.70	1.834 2
100	1 831	0	81.63	1 494	50.00	1.830 5
100.23	1 835	1	81.82	(1 509)	50.30	(1.844)
100.45	1 854	2	82.00	(1 514)	50.63	(1.846)
100.68	1 862	3	82.18	(1 519)	50.91	(1.848)
100.90	1 868	4	82.37	(1 524)	51.24	(1.850)
101.13	1 875	5	82.55	(1 530)	51.57	(1.853)
101.35	1 882	6	82.73	1 535	51.85	1.855
101.58	1 888	7	82.92	1 541	52.17	1.858
101.80	1 892	8	83.10	1 546	52.49	1.861
102.03	1 898	9	83.28	1 552	52.85	1.864
102.25	1 904	10	83.47	1 558	53.15	1.867
102.48	1 911	11	83.65	1 564	53.48	1.870
102.70	1 920	12	83.84	1 570	53.81	1.873
102.93	1 927	13	84.02	1 577	54.18	1.877
103.15	1 934	14	84.20	1 583	54.52	1.880
103.38	1 942	15	84.39	1 590	54.83	1.884
103.60	1 949	16	84.57	1 596	55.18	1.887
103.84	1 957	17	84.75	1 603	55.56	1.891
104.05	1 965	18	84.94	1 609	55.92	1.894
104.28	1 973	19	85.12	1 616	56.23	1.898
104.50	1 981	20	85.31	1 623	56.59	1.902
104.73	1 990	21	85.49	1 629	56.95	1.906
104.95	1 999	22	85.67	1 635	57.32	1.909
105.18	2 006	23	85.86	1 642	57.69	1.912
105.40	2 015	24	86.04	1 648	58.06	1.915
105.63	2 022	25	86.22	1 654	58.43	1.918
105.85	2 027	26	86.41	1 661	58.84	1.922
106.08	2 038	27	86.59	1 667	59.19	1.925
106.30	2 048	28	86.77	1 673	59.62	1.928
106.53	2 056	29	86.96	1 680	59.97	1.932
106.75	2 066	30	87.14	1 686	60.36	1.935

续表 1-1

H ₂ SO ₄		发烟硫酸中游离 SO ₃				密 度 (g/cm ³)
质量(%)	浓度(g/L)	游 离 量 质量(%)	总 量			
			质量(%)	浓度(g/L)	mol(%)	
106.98	2 075	31	87.33	1 692	60.75	1.938
107.20	2 087	32	87.51	1 699	61.15	1.941
107.43	2 095	33	87.69	1 705	61.56	1.944
107.65	2 103	34	87.88	1 711	61.96	1.947
107.88	2 110	35	88.06	1 717	62.37	1.950
108.10	2 117	36	88.24	1 723	62.79	1.953
108.33	2 124	37	88.43	1 730	63.20	1.956
108.55	2 132	38	88.61	1 737	63.65	1.960
108.78	2 139	39	88.80	1 743	64.05	1.963
109.00	2 145	40	88.98	1 748	64.50	1.965
109.23	2 153	41	89.16	1 755	64.88	1.968
109.45	2 160	42	89.35	1 760	65.34	1.970
109.68	2 167	43	89.53	1 766	65.80	1.972
109.90	2 174	44	89.71	1 772	66.24	1.975
110.13	2 182	45	89.90	1 778	66.69	1.978
110.35	2 187	46	90.08	1 784	67.17	1.980
110.58	2 192	47	90.26	1 790	67.60	1.983
110.80	2 198	48	90.45	1 796	68.03	1.986
111.03	2 206	49	90.63	1 802	68.52	1.988
111.25	2 214	50	90.82	1 806	69.00	1.989
111.48	2 221	51	91.00	1 812	69.47	1.991
111.70	2 227	52	91.18	1 817	69.97	1.993
111.92	2 233	53	91.37	1 822	70.42	1.994
112.15	2 239	54	91.55	1 826	70.93	1.995
112.38	2 246	55	91.73	1 832	71.40	1.997
112.60	2 251	56	91.92	1 837	71.93	1.998
112.82	2 256	57	92.10	1 841	72.40	1.999
113.05	2 261	58	92.29	1 846	72.94	2.000
113.28	2 267	59	92.47	1 849	73.46	2.000
113.50	2 272	60	92.65	1 853	73.94	2.000
113.72	2 276	61	92.84	1 858	74.50	2.001
113.95	2 281	62	93.02	1 861	74.99	2.001
114.18	2 285	63	93.20	1 865	75.56	2.001
114.40	2 289	64	93.39	1 869	76.11	2.001
114.62	2 293	65	93.57	1 872	76.68	2.001
115.75	2 311	70	94.49	(1 886)	79.48	(1.996)
116.88	2 325	75	95.41	(1 895)	82.45	(1.986)
118.00	2 336	80	96.33	(1 903)	85.58	(1.975)
119.12	2 344	85	97.24	(1 909)	88.89	(1.963)
120.25	2 350	90	98.16	(1 913)	92.39	(1.949)
121.38	2 355	95	99.08	(1 917)	96.09	(1.935)
122.50	2 357	100	100.00	1 920	100.00	1.920
114.85	2 297	66 ^③	93.75	1 875	77.21	2.002 6
115.08	2 301	67	93.94	1 878	77.73	2.002 6
115.30	2 305	68	94.12	1 881	78.33	2.002 5
115.52	2 308	69	94.30	1 884	78.90	2.002 5
115.75	2 311	70	94.49	1 887	79.48	2.002 4
115.98	2 314	71	94.67	1 889	80.06	2.002 4
116.20	2 317	72	94.85	1 892	80.65	2.002 3
116.42	2 320	73	95.03	1 894	81.24	2.002 2

续表 1-1

H ₂ SO ₄		发烟硫酸中游离 SO ₃				密 度 (g/cm ³)
质量(%)	浓度(g/L)	游 离 量 质量(%)	总 量			
			质量(%)	浓度(g/L)	mol(%)	
116.65	2 322	74	95.22	1 896	81.84	2.001 9
116.88	2 325	75	95.41	1 898	82.45	2.001 3
117.10	2 327	76	95.60	1 900	83.06	2.000 4
117.33	2 330	77	95.78	1 902	83.68	1.999 2
117.55	2 333	78	95.96	1 904	84.31	1.997 9
117.78	2 335	79	96.14	1 906	84.94	1.996 4
118.00	2 336	80	96.32	1 907	85.58	1.994 7
118.22	2 339	81	96.51	1 909	86.23	1.992 9
118.45	2 341	82	96.69	1 911	86.89	1.990 9
118.68	2 342	83	96.88	1 912	87.55	1.988 8
118.90	2 343	84	97.06	1 912	88.22	1.986 4
119.12	2 344	85	97.24	1 913	88.89	1.983 6
119.35	2 346	86	97.43	1 915	89.58	1.980 8
119.58	2 347	87	97.61	1 917	90.27	1.977 8
119.80	2 348	88	97.80	1 918	90.97	1.974 5
120.02	2 349	89	97.98	1 918	91.67	1.971 2
120.25	2 350	90	98.16	1 919	92.39	1.967 8
120.48	2 351	91	98.35	1 919	93.11	1.963 8
120.70	2 352	92	98.53	1 920	93.84	1.959 9
120.92	2 353	93	98.72	1 921	94.58	1.956 7
121.15	2 354	94	98.90	1 922	95.33	1.953 2
121.38	2 355	95	99.08	1 923	96.09	1.949 2
121.60	2 355	96	99.27	1 923	96.85	1.944 5
121.82	2 355	97	99.45	1 923	97.59	1.939 5
122.05	2 356	98	99.64	1 923	98.39	1.934 1
122.28	2 357	99	99.82	1 924	99.19	1.928 6
122.50	2 357	100	100.00	1 924	100.00	1.922 8

注:① 游离 SO₃ 含量的负数值表示能溶解于 100 g 该浓度的硫酸而得到的 100% 的硫酸的 SO₃ 质量。

② H₂SO₄ 含量与 SO₃ 含量的关系:

$$a = 0.8163b \text{ 或 } b = 1.225a \quad (1-1)$$

$$a = 81.63 + 0.1837c \text{ 或 } c = 5.4438(a - 81.63) \quad (1-2)$$

式中: a ——硫酸或发烟硫酸中 SO₃ 含量%(质量),见表 1-1 中的第 4 栏。

b ——硫酸或发烟硫酸中 H₂SO₄ 含量%(质量),见表 1-1 中的第 1 栏。

c ——发烟硫酸中游离 SO₃ 含量%(质量),见表 1-1 中的第 3 栏。

③ 附:66%~100%发烟硫酸的有关参考数据。

二、密度

1. 硫酸的密度(表 1-2)

表 1-2 硫酸的密度

H ₂ SO ₄ 质量(%)	密 度(g/cm ³)													
	0℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃	80℃	90℃	100℃
0	0.999 9	1.000 0	0.999 7	0.999 1	0.998 2	0.997 1	0.995 7	0.992 2	0.988 1	0.983 2	—	—	—	—
1	1.007 5	1.007 3	1.006 9	1.006 1	1.005 1	1.003 8	1.002 2	0.998 6	0.994 4	0.989 5	0.983 7	0.977 9	0.971 2	0.964 5
2	1.014 7	1.014 4	1.013 8	1.012 9	1.011 8	1.010 4	1.008 7	1.005 0	1.000 6	0.995 6	0.989 7	0.983 9	0.977 2	0.970 5
3	1.021 9	1.021 4	1.020 6	1.019 7	1.018 4	1.016 9	1.015 2	1.011 3	1.006 7	1.001 7	0.995 9	0.990 0	0.983 3	0.976 6
4	1.029 1	1.028 4	1.027 5	1.026 4	1.025 0	1.023 4	1.021 6	1.017 6	1.012 9	1.007 8	1.002 0	0.996 1	0.989 4	0.982 7
5	1.036 4	1.035 5	1.034 4	1.033 2	1.031 7	1.030 0	1.028 1	1.024 0	1.019 2	1.014 0	1.008 1	1.002 2	0.995 5	0.988 8
6	1.043 7	1.042 6	1.041 4	1.040 0	1.038 4	1.036 7	1.034 7	1.030 5	1.025 6	1.020 3	1.014 4	1.008 4	1.001 7	0.995 0
7	1.051 1	1.049 8	1.048 5	1.046 9	1.045 3	1.043 4	1.041 4	1.037 1	1.032 1	1.026 6	1.020 6	1.014 6	1.007 9	1.001 3
8	1.058 5	1.057 1	1.055 6	1.053 9	1.052 2	1.050 2	1.048 2	1.043 7	1.038 6	1.033 0	1.027 0	1.020 9	1.014 2	1.007 6
9	1.066 0	1.064 4	1.062 8	1.061 0	1.059 1	1.057 1	1.054 9	1.050 3	1.045 1	1.039 5	1.033 4	1.027 3	1.020 6	1.014 0
10	1.073 5	1.071 8	1.070 0	1.068 1	1.066 1	1.064 0	1.061 7	1.057 0	1.051 7	1.046 0	1.039 9	1.033 8	1.027 1	1.020 4
11	1.081 0	1.079 2	1.077 3	1.075 3	1.073 1	1.070 9	1.068 6	1.063 7	1.058 4	1.052 6	1.046 5	1.040 3	1.033 6	1.026 9
12	1.088 6	1.086 6	1.084 6	1.082 5	1.080 3	1.078 0	1.075 6	1.070 5	1.065 1	1.059 3	1.053 1	1.046 9	1.040 2	1.033 5
13	1.096 2	1.094 2	1.092 0	1.089 8	1.087 4	1.085 1	1.082 6	1.077 4	1.071 9	1.066 1	1.059 9	1.053 6	1.046 9	1.040 2
14	1.103 9	1.101 7	1.099 4	1.097 1	1.094 7	1.092 2	1.089 7	1.084 4	1.078 8	1.072 9	1.066 6	1.060 3	1.053 6	1.046 9
15	1.111 6	1.109 3	1.106 9	1.104 5	1.102 0	1.099 4	1.096 8	1.091 4	1.085 7	1.079 8	1.073 5	1.067 1	1.060 4	1.053 7
16	1.119 4	1.117 0	1.114 5	1.112 0	1.109 4	1.106 7	1.104 0	1.098 5	1.092 7	1.086 8	1.080 4	1.074 0	1.067 3	1.060 5
17	1.127 2	1.124 7	1.122 1	1.119 5	1.116 8	1.114 1	1.111 3	1.105 7	1.099 8	1.093 8	1.087 4	1.080 9	1.074 2	1.067 4
18	1.135 1	1.132 5	1.129 8	1.127 0	1.124 3	1.121 5	1.118 7	1.112 9	1.107 0	1.100 9	1.094 4	1.087 9	1.081 2	1.074 4
19	1.143 0	1.140 3	1.137 5	1.134 7	1.131 8	1.129 0	1.126 1	1.120 2	1.114 2	1.108 1	1.101 6	1.095 0	1.088 2	1.081 4
20	1.151 0	1.148 1	1.145 3	1.142 4	1.139 4	1.136 5	1.133 5	1.127 5	1.121 5	1.115 3	1.108 7	1.102 1	1.095 3	1.088 5
21	1.159 0	1.156 0	1.153 1	1.150 1	1.147 1	1.144 1	1.141 1	1.135 0	1.128 8	1.122 6	1.116 0	1.109 3	1.102 5	1.095 7
22	1.167 0	1.164 0	1.160 9	1.157 9	1.154 8	1.151 7	1.148 6	1.142 4	1.136 2	1.129 9	1.123 3	1.116 6	1.109 8	1.102 9
23	1.175 1	1.172 0	1.168 8	1.165 7	1.162 6	1.159 4	1.156 3	1.150 0	1.143 7	1.137 3	1.130 6	1.123 9	1.117 1	1.110 2
24	1.183 2	1.180 0	1.176 8	1.173 6	1.170 4	1.167 2	1.164 0	1.157 6	1.151 2	1.144 8	1.138 2	1.131 3	1.124 5	1.117 6
25	1.191 4	1.188 1	1.184 8	1.181 6	1.178 3	1.175 1	1.171 8	1.165 3	1.158 8	1.152 3	1.145 6	1.138 8	1.131 9	1.125 0
26	1.199 6	1.196 2	1.192 9	1.189 6	1.186 3	1.182 9	1.179 6	1.173 0	1.166 5	1.159 9	1.153 1	1.146 3	1.139 4	1.132 5
27	1.207 8	1.204 4	1.201 0	1.197 6	1.194 2	1.190 9	1.187 5	1.180 8	1.174 2	1.167 6	1.160 8	1.153 9	1.147 0	1.140 0
28	1.216 1	1.212 6	1.209 1	1.205 7	1.202 3	1.198 9	1.195 5	1.188 7	1.182 0	1.175 3	1.168 5	1.161 6	1.154 6	1.147 6
29	1.224 3	1.220 8	1.217 3	1.213 8	1.210 4	1.206 9	1.203 5	1.196 6	1.189 8	1.183 1	1.176 2	1.169 3	1.162 3	1.155 3
30	1.232 6	1.229 1	1.225 5	1.222 0	1.218 5	1.215 0	1.211 5	1.204 6	1.197 8	1.190 9	1.184 0	1.177 1	1.170 1	1.163 0

续表 1-2

H ₂ SO ₄ 质量(%)	密 度(g/cm ³)													
	0℃	5℃	10℃	15℃	20℃	25℃	30℃	40℃	50℃	60℃	70℃	80℃	90℃	100℃
31	1.241 0	1.237 4	1.233 8	1.230 2	1.226 7	1.223 2	1.219 6	1.212 7	1.205 7	1.198 8	1.191 9	1.184 9	1.177 9	1.170 8
32	1.249 3	1.245 7	1.242 1	1.238 5	1.234 9	1.231 4	1.227 8	1.220 7	1.213 7	1.206 8	1.199 8	1.192 8	1.185 8	1.178 7
33	1.257 7	1.254 1	1.250 4	1.246 8	1.243 2	1.239 6	1.236 0	1.228 9	1.221 9	1.214 8	1.207 8	1.200 8	1.193 7	1.186 6
34	1.266 1	1.262 5	1.258 8	1.255 2	1.251 5	1.247 9	1.244 3	1.237 1	1.230 0	1.222 9	1.215 9	1.208 8	1.201 7	1.194 6
35	1.274 6	1.270 9	1.267 2	1.263 6	1.259 9	1.256 3	1.252 7	1.245 4	1.238 3	1.231 1	1.224 0	1.216 9	1.209 8	1.202 7
36	1.283 1	1.279 4	1.275 7	1.272 0	1.268 4	1.264 7	1.261 0	1.253 8	1.246 6	1.239 4	1.232 3	1.225 1	1.218 0	1.210 9
37	1.291 7	1.288 0	1.284 3	1.280 6	1.276 9	1.273 2	1.269 5	1.262 2	1.254 9	1.247 7	1.240 6	1.233 4	1.226 3	1.219 2
38	1.300 4	1.296 6	1.292 9	1.289 1	1.285 4	1.281 7	1.278 0	1.270 7	1.263 4	1.256 1	1.249 0	1.241 8	1.234 7	1.227 6
39	1.309 1	1.305 3	1.301 6	1.297 8	1.294 1	1.290 4	1.286 6	1.279 8	1.271 9	1.264 6	1.257 5	1.250 3	1.243 2	1.236 1
40	1.317 9	1.314 1	1.310 3	1.306 5	1.302 8	1.299 1	1.295 3	1.287 9	1.280 6	1.273 2	1.266 1	1.258 9	1.251 8	1.244 6
41	1.326 7	1.322 9	1.319 1	1.315 3	1.311 6	1.307 8	1.304 1	1.296 7	1.289 3	1.281 9	1.274 7	1.267 5	1.260 4	1.253 2
42	1.335 7	1.331 8	1.328 0	1.324 2	1.320 4	1.316 7	1.312 9	1.305 5	1.298 1	1.290 7	1.283 5	1.276 2	1.269 1	1.261 9
43	1.344 7	1.340 8	1.337 0	1.333 2	1.329 4	1.325 6	1.321 8	1.314 4	1.307 0	1.299 6	1.292 3	1.285 0	1.277 9	1.270 7
44	1.353 8	1.350 0	1.346 1	1.342 3	1.338 4	1.334 6	1.330 9	1.323 4	1.316 0	1.308 6	1.301 3	1.293 9	1.286 8	1.279 6
45	1.363 1	1.359 2	1.355 3	1.351 4	1.347 6	1.343 8	1.340 0	1.332 5	1.325 0	1.317 7	1.310 3	1.302 9	1.295 8	1.288 6
46	1.372 4	1.368 5	1.364 6	1.360 7	1.356 9	1.353 0	1.349 2	1.341 7	1.334 2	1.326 9	1.319 5	1.312 0	1.304 8	1.297 6
47	1.381 9	1.377 9	1.374 0	1.370 1	1.366 3	1.362 4	1.358 6	1.351 0	1.343 5	1.336 2	1.328 7	1.321 2	1.314 0	1.306 7
48	1.391 5	1.387 5	1.383 6	1.379 6	1.375 7	1.371 9	1.368 0	1.360 4	1.352 8	1.345 5	1.338 0	1.330 5	1.323 2	1.315 9
49	1.401 2	1.397 2	1.393 2	1.389 3	1.385 3	1.381 4	1.377 6	1.369 9	1.362 3	1.354 9	1.347 4	1.339 9	1.332 6	1.325 3
50	1.411 0	1.407 0	1.403 0	1.399 0	1.395 1	1.391 1	1.387 2	1.379 5	1.371 9	1.364 4	1.356 9	1.349 4	1.342 1	1.334 8
51	1.420 9	1.416 9	1.412 8	1.408 8	1.404 9	1.400 9	1.397 0	1.389 3	1.381 6	1.374 0	1.366 5	1.359 0	1.351 7	1.344 4
52	1.431 0	1.426 9	1.422 8	1.418 8	1.414 8	1.410 9	1.406 9	1.399 1	1.391 4	1.383 7	1.376 2	1.368 7	1.361 4	1.354 0
53	1.441 1	1.437 0	1.433 0	1.428 9	1.424 9	1.420 9	1.416 9	1.409 1	1.401 3	1.393 6	1.386 1	1.378 5	1.371 1	1.363 7
54	1.451 4	1.447 3	1.443 2	1.439 1	1.435 0	1.431 0	1.427 0	1.419 1	1.411 3	1.403 6	1.396 0	1.388 4	1.381 0	1.373 5
55	1.461 8	1.457 7	1.453 5	1.449 4	1.445 3	1.441 2	1.437 2	1.429 3	1.421 4	1.413 7	1.406 1	1.398 4	1.390 9	1.383 4
56	1.472 4	1.468 1	1.464 0	1.459 8	1.455 7	1.451 6	1.447 5	1.439 5	1.431 7	1.423 9	1.416 2	1.408 5	1.401 0	1.393 4
57	1.483 0	1.478 7	1.474 5	1.470 3	1.466 2	1.462 0	1.458 0	1.449 9	1.442 0	1.434 2	1.426 5	1.418 7	1.411 1	1.403 5
58	1.493 7	1.489 4	1.485 1	1.480 9	1.476 7	1.472 6	1.468 5	1.460 4	1.452 4	1.444 6	1.436 8	1.429 0	1.421 4	1.413 7
59	1.504 5	1.500 2	1.495 9	1.491 6	1.487 4	1.483 2	1.479 1	1.470 9	1.462 9	1.455 1	1.447 2	1.439 3	1.431 7	1.424 0
60	1.515 4	1.511 1	1.506 7	1.502 4	1.498 2	1.494 0	1.489 8	1.481 6	1.473 5	1.465 6	1.457 7	1.449 7	1.442 1	1.434 4
61	1.526 4	1.522 0	1.517 7	1.513 3	1.509 1	1.504 8	1.500 6	1.492 3	1.484 2	1.476 2	1.468 2	1.460 2	1.452 6	1.444 9
62	1.537 6	1.533 1	1.528 7	1.524 3	1.520 0	1.515 7	1.511 5	1.503 1	1.494 9	1.486 9	1.478 9	1.470 8	1.463 1	1.455 4
63	1.548 7	1.544 2	1.539 8	1.535 4	1.531 0	1.526 7	1.522 4	1.514 0	1.505 8	1.497 7	1.489 6	1.481 5	1.473 8	1.466 0
64	1.560 0	1.555 5	1.551 0	1.546 5	1.542 1	1.537 8	1.533 5	1.525 0	1.516 7	1.508 6	1.500 5	1.492 3	1.484 5	1.476 6