

小型尿素装置 生产技术

中国武汉化工工程公司

小型尿素装置 生产技术

中国武汉化工工程公司 编著
化学工业部化肥司 校审

江苏工业学院图书馆
藏书章

(内部讲义)

1989年4月·武汉

内 容 提 要

本讲义着重介绍水溶液全循环法尿素工艺。除了全面地叙述尿素生产的基础理论、工艺流程和设备结构外，还根据生产的需要对尿素设备的腐蚀、管道防振、生产准备和原始开车等重要问题进行了阐述；此外，有关实际生产中的设备维修、仪表、管道、生产分析和安全技术等问题也一一予以说明。可供碳酸铵改产尿素生产的小型氮肥企业的工程技术人员、技术工人及管理干部提高技术素质进行培训和自学之用；并可供从事化肥工业的有关科研人员、设计工作者、高校师生等参考。

序 言

目前,全国有小氮肥厂1070个,其产量占全国合成氨总产量的57%。小型氮肥工业在我国化肥工业中已占有举足轻重的地位。

近年来,小型氮肥工业不仅在产量上有了很大的发展,在技术水平上也有很大提高,而且,由于尿素产品的出现,更给小型氮肥工业的发展,展现了新的前景。目前,水溶液全循环工艺和中压联尿工艺的年产四万吨尿素装置均已通过技术经济考核,这为进一步发展小型尿素生产打下了基础。

为了调整氮肥工业的产品结构,国务院批准了化工部关于对部分化肥产品品种进行改产尿素的报告,国家正在有计划地安排部分碳酸氢铵厂改产尿素。为了配合做好这项工作,我司委托化工部中国武汉化工工程公司结合四万吨尿素装置生产建设的实践经验和通用设计的主要内容,组织编写了这本书,以此作为职工培训的基础教材。

目前,小型尿素装置除少数采用中压联尿和二氧化碳气提工艺之外,多数均采用水溶液全循环这一成熟工艺。但随着小型氮肥工业技术的发展,小型尿素技术也必将有较大的提高,相信小型氮肥行业的干部、工程技术人员和工人同志们会在学习、借鉴的基础上,努力奋斗,使小型尿素生产技术有更大的创新和发展。

化学工业部化肥司

一九八九年四月

编者的一话

我国现行的化肥品种,基于历史原因造成结构单一,低品位的碳铵产品占全国氮肥总产量的57%。为给我国农业提供高质量的化肥,品种结构急待调整。实践证明,将具备一定条件的小碳铵厂改产尿素,是调整产品结构的一条快而好的途径之一。同时,也给小化肥厂带来蓬勃生机。

为适应部分小化肥厂改产尿素的需要,化学工业部责成中国武汉化工工程公司,在山东邹县氮肥厂和平度化肥厂、河南辉县市化肥厂试点的基础上,完成年产四万吨全循环法尿素通用设计。该工艺在国内通过二十余年的实践,在设计、制造、施工、生产等各方面都积累了丰富的经验,因此,改建工程可以立足国内,具有投资省、建设周期短、收效快等优点。

尿素生产的技术要求比生产碳铵高得多,要搞好改产尿素工程,做到一次化工试车成功,并在较短的时间内投入连续稳定生产,必须重视技术准备工作,要有一支素质优秀的职工队伍,即有懂得现代企业管理、懂技术、责任心强的领导;有技术精良的工程技术人员;有操作熟练、作风过硬的技术工人。为此,必须抓好全员技术培训工作。

《小型尿素装置生产技术》讲义,着重介绍了水溶液全循环法尿素工艺,对尿素生产的基础理论、工艺流程、设备、仪表、配管、分析及生产准备和安全生产等技术问题进行了阐述,既有理论,又切合实际,内容丰富,简明扼要,可作为从事改产尿素工程的领导干部、工程技术人员和技术工人的培训教材。

本讲义由中国武汉化工工程公司有关同志编写。辛纪苍编写第一、十七章并与梅安华合写第十六章；林棣生编写第二章；张启仓编写第三、四章并补充、校整第一、二、十二章；程忠振编写第五、六章；王时珍编写第七章及第六章第六节中的喷射器部分；徐明林编写第八、九章；张美娟编写第十章，廖志强校整；凌莉编写第十一章；董振海编写第十二章，辛纪苍校整；李长江编写第十三章；孔繁荣编写第十四章；谭卿云编写第十五章。最后由吴玉峰、张启仓整理。余济安、王正喜、庄秀妹、罗紫薇负责编辑。

由于我们水平有限，加之时间仓促，在编写和编辑方面难免出现不妥或错误之处，敬请从事化肥工业的领导、专家、读者批评指正。

一九八九年四月

目 录

第一章 概 论	(1)
第一节 尿素的发现和生产的发展	(1)
第二节 原料氨和二氧化碳的性质	(4)
第三节 尿素的性质	(10)
第四节 尿素的用途	(14)
第五节 尿素生产的特点	(16)
第六节 碳铵改产尿素的配套工程	(17)
第二章 合成尿素生产工艺流程	(19)
第一节 4万吨/年尿素装置通用设计基础数据	(20)
第二节 水溶液全循环法工艺流程说明	(21)
第三节 水溶液全循环法物料平衡表	(25)
第四节 水溶液全循环法工艺设备一览表	(34)
第五节 二氧化碳汽提法	(39)
第六节 中压联尿	(42)
第三章 尿 素 合 成	(45)
第一节 概述	(45)
第二节 尿素合成反应的热效应	(46)
第三节 尿素合成反应的化学平衡	(51)
第四节 尿素合成工业条件的选择及生产操作控制	(71)
第四章 未反应物的分离	(81)
第一节 未反应物的分离原理	(81)
第二节 一段分解	(85)

第三节	二段分解	(94)
第四节	闪蒸	(101)
第五章	未反应物的回收	(103)
第一节	吸收单元操作理论	(103)
第二节	相图及相平衡理论	(110)
第三节	一吸塔的操作原理及影响因素	(113)
第四节	影响氨冷凝器的因素	(128)
第五节	中压吸收系统的主要工艺指标	(130)
第六节	防爆理论及生产中的防爆措施	(131)
第七节	二段循环吸收原理及工艺指标的选择	(137)
第八节	解吸原理及操作	(140)
第九节	水平衡概念	(144)
第六章	尿素溶液的加工	(145)
第一节	尿素溶液蒸发特性和原理	(145)
第二节	尿素溶液蒸发工艺条件的选择	(147)
第三节	尿素生成中的副反应	(148)
第四节	影响缩二脲生成的因素及其生成情况	(150)
第五节	尿素相图在蒸发系统中的应用	(153)
第六节	主要工艺设备	(154)
第七章	塔式尿素造粒	(157)
第一节	概述	(157)
第二节	自然通风造粒塔设计	(159)
第三节	造粒塔的粉尘	(165)
第四节	旋转造粒喷头	(169)
第五节	4 万吨/年尿素造粒塔生产测定	(171)
第八章	尿素生产设备	(176)
第一节	尿素合成塔	(176)
第二节	一段分解系统设备	(186)

第三节	一吸塔	(188)
第四节	二分塔	(189)
第五节	蒸发器	(189)

第九章 尿素生产的腐蚀与防护 (193)

第一节	概述	(193)
第二节	腐蚀类型	(193)
第三节	腐蚀原因及其影响因素	(196)
第四节	主要设备的腐蚀与防护	(199)
第五节	尿素装置选材原则及其要求	(208)

第十章 二氧化碳压缩机 (212)

第一节	概述	(212)
第二节	二氧化碳压缩机机型的确定	(212)
第三节	往复式压缩机的工作过程	(213)
第四节	往复式压缩机的分类、结构及材料	(215)
第五节	工艺流程及润滑油流程	(222)
第六节	热力计算	(224)
第七节	联锁报警装置	(226)
第八节	压缩机的安装	(226)
第九节	压缩机的维修及故障处理	(229)
第十节	二氧化碳压缩机的单体试车	(233)
第十一节	无油润滑简介	(235)

第十一章 柱塞泵 (237)

第一节	概述	(237)
第二节	柱塞泵工作原理	(239)
第三节	氨基甲酸铵泵	(244)
第四节	高压液氨泵	(250)
第五节	变速装置	(251)
第六节	柱塞泵的安装和维修	(254)
第七节	泵的单体试车及故障排除	(257)

第十二章	尿素管道设计与安装验收	(261)
第一节	尿素管道的分类	(261)
第二节	尿素管材的选用	(263)
第三节	尿素阀门的选用和分类	(264)
第四节	尿素设备布置和管道设计原则	(267)
第五节	尿素设备管道的保温	(268)
第六节	尿素管道的安装和验收	(272)
第十三章	管道机械计算	(277)
第一节	管道应力计算	(277)
第二节	管架的设置	(281)
第三节	管端推力和力矩	(284)
第四节	管道振动	(286)
第五节	管道振动的消除方法	(293)
第十四章	化工仪表	(297)
第一节	测量仪表	(297)
第二节	单元组合仪表	(308)
第三节	调节阀和阀门定位器	(313)
第四节	化工自动化	(317)
第十五章	尿素生产分析	(325)
第一节	概述	(325)
第二节	取样方法	(325)
第三节	原料分析	(327)
第四节	中间产物分析	(333)
第五节	尿素成品分析	(344)
第六节	化工开车前化验室的准备工作简介	(344)
第七节	分析室安全规则	(345)

第十六章	生产准备及试车	(348)
第一节	生产准备	(348)
第二节	工程扫尾	(351)
第三节	开车前准备	(352)
第四节	化工投料试车	(360)
节五节	生产考核	(365)
第十七章	安全技术	(367)
第一节	工艺物料特性及防护措施	(367)
第二节	一般安全要求	(368)
第三节	关于电气设备的几点要求	(368)
第四节	关于设备维护及检修注意事项	(369)
第五节	各工序安全操作注意事项	(369)
第六节	化工投料前应具备的安全条件	(371)

第一章 概 论

第一节 尿素的发现和生产的发展

尿素化学名为碳酰胺,分子式为 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 。在自然界中,尿素主要存在于人及其他食肉脊椎动物所排泄出的尿液中,成人每日约排出20~30克尿素。其次在菠菜、胡萝卜的叶子中及各种植物的幼芽中也有尿素存在。

一、尿素的发现

1773年鲁爱耳(Rouelle)在蒸发尿液时第一次发现尿素,直到1798年才被福克洛(Fourcroy)及万库林(Vauquelin)肯定是一种新的物质,并正式命名为尿素。

1828年德国人魏勒(Wohler)在实验室加热氰酸铵时制得尿素。

这是人类第一次由无机物制出有机物,填平了无机化学与有机化学的鸿沟,奠定了有机合成的基础。

现在工业上所采用氨与二氧化碳直接合成尿素的方法,是由巴塞洛夫(Bassoroff)于1886年第一个试验成功的。因其生产过程比较复杂,而且又是一个具有强烈腐蚀作用的化工过程,所以发展比较缓慢。1913年工业规模的合成氨实现以后,提供了合成尿素的新条件。合成氨生产中排出的大量 CO_2 和产品液氨正好为尿素提供了原料,从而使尿素和合成氨建成为一个联合工厂提供了可能性和合理性。

二、尿素工业发展情况

1920年首先在德国依格法本(I. G Farben)工厂用氨与二氧化碳合成尿素进行工业生产,1924年开始出售固体尿素。但因设备复杂、材质要求高,未能大量推广。

自本世纪20年代开始,合成尿素工业生产经历了六十多年。在此期间,世界各国都在竞相进行氨与二氧化碳合成尿素的试验研究工作,对于合成尿素的物理化学规律进行了广泛的研究。防腐蚀材料的解决,生产技术的不断改进,并开发出各种合成尿素工艺的新流程、新设备,使得合成尿素生产成本大大降低,加之尿素产品在工业和农业上有着广泛的用途,促使尿素生产在近20年来有了迅速的发展。

现将发达资本主义国家和发展中国家的尿素生产能力列于表1-1:

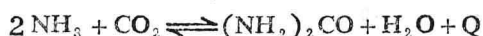
从表1-1可以看出1976~1980年间,这些国家尿素的总生产能力几乎增加了一倍,而1981~1985年间至少增长35%,值得提出的是发展中国家尿素生产能力的增长速度远远超过发达资本主义国家。1975~1980年间,这两类国家的尿素生产能力年平均增长率分别为25.5%和5%,因此,到1980年发展中国家的尿素生产能力已超过发达资本主义国家,至1985年发展中国家尿素生产能力几乎为资本主义国家的两倍。

表1-1

时 间	发达资本主义国家 生产能力,千吨/年	发 展 中 国 家 生产能力,千吨/年	总 计 生 产 能 力 千吨/年
1975年	14770	7300	22070
1980年	18860	22665	41525
1985年	19425	37000	56425

三、尿素生产方法

氨和二氧化碳合成尿素，其总反应可以表示为：



这一反应需在高温（ $>140^\circ\text{C}$ ，一般为 $180\sim 190^\circ\text{C}$ ）高压（ $>13.72\text{MPa}$ ）下进行。由于这是可逆反应，因此氨与二氧化碳不可能全部转化为尿素，在工业生产条件下，二氧化碳的转化率仅在 $50\sim 70\%$ 之间，为了处理未反应的氨和二氧化碳，可以将合成熔融物加热分解，使成气体逸出，但要使氨和二氧化碳全部或部分返回尿素合成塔重新合成尿素，这就出现了各种不同的流程。

不循环法——将合成熔融物采用一次分解，未反应的氨和二氧化碳不再返回尿素合成系统中去，而送去副产硫酸铵或碳化氨水，在这种流程中，每生产一吨尿素，需副产 $3\sim 5$ 吨硫酸铵。

半循环法——将熔融物进行二次分解，回收第一次分解的氨和二氧化碳返回合成系统中去，而将第二次分解的氨和二氧化碳送去制造硫酸铵或碳化氨水。在这种流程，每生产1吨尿素，需副产 $1\sim 3.5$ 吨硫酸铵。

全循环法——将未反应的氨和二氧化碳全部返回合成系统中去。为了避免生成固体氨基甲酸铵的困难，出现有热气全循环法、矿物油全循环法、气体分离全循环法、水溶液全循环法及气提全循环法等。

热气全循环法：系将未反应氨与二氧化碳在热的状态下，进入压缩机压缩。这种方法不仅压缩机庞大，动力消耗大，而且由于操作温度高，腐蚀比较严重。

矿物油全循环法：用惰性矿物油处理未反应的氨和二氧化碳，使成为固体氨基甲酸铵细粒，悬浮于油中，再用泵返回合成系统。本法反应器容积大，投资大，成本高，而且成品带油。

气体分离全循环法：将未反应的氨和二氧化碳的气体混合物，用一种选择性吸收剂将其中一种组份吸收，再解吸之，分别压缩返回合成系统中去。氨的选择性吸收剂为硝酸尿素水溶液、磷酸铵水溶液或重铬酸铵水溶液等；而二氧化碳的选择性吸收剂为醇基胺和多甘油酯等，这种方法流程复杂，动力消耗较大。

水溶液全循环法：将未反应的氨与二氧化碳用一定量的水吸收成为氨基甲酸铵水溶液，用泵加压返回合成系统中去。

气提法：用原料二氧化碳气或氨气在合成压力下将尿素熔融物气提，使其中的氨基甲酸铵分解，返回合成系统。如用二氧化碳气提，称为二氧化碳气提法，如用氨进行气提，则称为氨气提法。也有同时把氨气提和二氧化碳气提用于同一生产流程，则称之为双气提法或等压双循环法。

中压联尿法：也是气提全循环法的一种，是将合成尿素熔融物减压到4.5~6 MPa后，用合成氨的变换气进行气提，通过吸收装置把未反应的二氧化碳、氨气以及变换气中的二氧化碳一并吸收，呈氨基甲酸铵形式返回尿素合成系统。变换气中氢、氮气送合成氨装置。把尿素装置视做为合成氨的脱碳工序，成为一个合成氨——尿素联合生产的新流程。称之为《中压联尿》法。

八十年代以来，国外专利公司在降低尿素能耗及成本方面做了大量的研究开发工作，如荷兰斯塔米卡本公司（Stamicarbon）的CO₂气提法、意大利的斯纳姆普鲁吉蒂公司（Snam-progetti）的氨气提法、日本三井东压公司改进的节能低成本ACES法（Advanced procees for Cost and Energy Saving）、意大利蒙特爱迪生公司（Montedison）的等压双循环IDR法（Isobaric Double Recycle）、美国尿素技术有限公司（Urea Technologies Incorporated company）的热循环法、瑞士亚摩尼亚卡萨里公司（Ammonia Casale）分流反应循环SRR法等都比传统的全循环法明显地降低了能耗。

目前世界各地采用前四大公司的生产方法居多，1975年采用这四家公司工艺生产只占60%，1980年增至82%，到1985年再增至88%，各公司的分配比例见表1-2。

表1-2

所 采 用 的 工 艺	发达资本主义国家尿素生产能力份额，%			发展中国家尿素生产能力份额，%			总尿素生产能力的分配比例，%		
	1975年	1980年	1985年	1975年	1980年	1985年	1975年	1980年	1985年
斯塔米卡本公司	20	38	48	20	23	29	20	30	35
斯纳姆普鲁吉蒂公司	3	10	13	8	16	22	5	13	19
三井东压公司	25	16	16	31	36	27	27	27	23
蒙特爱迪生公司	3	10	9	18	13	12	8	12	11
其 它	49	26	14	23	12	10	40	18	12

四、我国尿素发展概况

我国于1957年开始在上海化工研究院氮肥室进行尿素生产的理论研究和试验工作。1958年在南京永利宁厂筹建我国第一套半循环法中间试验装置，1959年10月正式投入生产试验工作。当时装置能力年产3000吨尿素。1962年通过国家鉴定，取得试验指标是，产一吨尿素尾气氮量为650公斤左右，相当于副产硫酸铵量2.5吨。1965年2月上海化工研究院尿素中试车间完成了高效半循环试验，每产一吨尿素尾气氮量~170公斤，相当于副产硫酸铵量0.685吨。同年12月上海化工研究院在日产2吨尿素的中间试验车间完成了水溶液全循环试验。1967年该中试车间采用合成氨变换气做气提试验取得成功，开发了我国中压联尿的新流程，并由化工部第四设计院完成工程设计及施工图。1974年和1975年分别在延安东风化肥厂和江苏六合化肥厂建立的中压联尿装置投入化工试车，其生产规模为42吨/日尿素（年产一万吨尿素）。

在工业化方面, 1965年3月我国第一套半循环法尿素在吴泾化工厂试车成功, 当时设计能力为年产4万吨尿素(单系列一万吨)。1966年11月由化工部第四设计院设计、国内自行制造的年产11万吨尿素水溶液全循环法装置, 在石家庄化肥厂投产成功, 标志着我国尿素工业发展进入一个新的阶段。至目前全国共有8~11万吨/年尿素的中型尿素装置35套, 4万吨/年小型尿素装置3套, 分布在全国35个生产厂, 总的设计公称能力为382万吨/年。在七十年代初, 我国又引进了荷兰斯塔米卡本二氧化碳气提法大型尿素装置13套和日本三井东压公司的东洋高压全循环改良C法二套, 每套生产能力均为1620~1740吨/日, 使我国尿素的生产能力迅速地增加。八十年代初, 化工部第四设计院与荷兰凯洛格-大陆公司联合设计了日产1740吨CO₂气提法尿素装置, 装置所需的设备大部分由国内自行制造。该装置于1984年9月在镇海石化总厂化肥厂试车投产成功。同类型的第二套装置于1986年在新疆乌鲁木齐石油化工厂投产; 第三套装置于1988年7月在宁夏化工厂试车投产。表明了我国已具有自行设计、自行制造大型尿素装置的能力, 并赶上了国外的先进水平。

我国台湾尿素工业发展较晚, 台湾化肥公司在南港厂建立一座以焦炭为原料的合成氨-尿素厂, 尿素生产能力75000吨/年, 于1959年投入工业化生产, 可惜该厂于1970年因成本过高而关闭。尔后, 该公司与沙特阿拉伯合资经营Al-Jubail化肥厂, 是以天然气为原料生产合成氨, 尿素生产能力为50万吨/年, 但由于天然气缺乏, 1984年也相继停产。目前台湾唯一仍保持生产的是在苗栗建立的一套以天然气为原料的合成氨厂, 生产合成氨300000吨/年、尿素186000吨/年。

第二节 原料氨和二氧化碳的性质

一、氨

1. 分子式和分子量

分子式: NH₃

分子量: 17.03

2. 沸点: 0.101MPa绝压下, -33.35℃

3. 熔点: 三相点, 0.006026MPa下, -77.7℃

4. 临界常数

临界温度: 132.9℃

临界压力: 11.399MPa

5. 分子容积: 22.08Nm³/kgmol (气体)

6. 气体常数: 49.78kg·m/kg·℃

7. 密度

1) 气体密度: 在标准状况下, 0.771kg/m³

2) 液氨及其饱和蒸汽的密度

液氨及其饱和蒸汽的密度见表1-3。

液氨的密度还可按式1-1计算。

$$d_4' = \frac{1 + 0.424805\sqrt{133-t} + 0.015938(133-t)}{4.2830 + 0.813055\sqrt{133-t} - 0.008286(133-t)}$$

(1-1)

式中 t ——温度, $^{\circ}\text{C}$;

d_4' ——在 $t^{\circ}\text{C}$ 下液氮的密度, 克/升。

上式使用范围: $-50 \sim 50^{\circ}\text{C}$

8. 热容

1) 气氮的热容

气氮的热容见表 1-4 和表 1-5。

气氮的热容也可按式 1-2 计算

表 1-3 液氮(及蒸汽)的密度

温 度 $^{\circ}\text{C}$	密 度		温 度 $^{\circ}\text{C}$	密 度		温 度 $^{\circ}\text{C}$	密 度	
	液 体	蒸 气		液 体	蒸 气		液 体	蒸 气
	公斤/升	公斤/米 ³		公斤/升	公斤/米 ³		公斤/升	公斤/米 ³
-50	0.7020	0.382	-10	0.6520	2.390	10	0.6247	4.859
-48	0.6996	0.425	-9	0.6503	2.483	12	0.6218	5.189
-46	0.6972	0.474	-8	0.6497	2.579	14	0.6190	5.537
-44	0.6948	0.527	-7	0.6480	2.678	16	0.6161	5.904
-42	0.6924	0.584	-6	0.6467	2.779	18	0.6132	6.289
-40	0.6900	0.645	-5	0.6453	2.883	20	0.6103	6.694
-38	0.6875	0.712	-4	0.6440	2.991	22	0.6073	7.119
-36	0.6851	0.785	-3	0.6426	3.102	24	0.6043	7.564
-34	0.6826	0.863	-2	0.6413	3.216	26	0.6013	8.031
-32	0.6801	0.948	-1	0.6399	3.332	28	0.5983	8.521
-30	0.6777	1.038	0	0.6386	3.452	30	0.5952	9.034
-28	0.6752	1.136	1	0.6372	3.576	32	0.5921	9.573
-26	0.6726	1.242	2	0.6358	3.703	34	0.5890	10.138
-24	0.6701	1.354	3	0.6345	3.834	36	0.5859	10.731
-22	0.6676	1.474	4	0.6331	3.969	38	0.5827	11.353
-20	0.6650	1.604	5	0.6317	4.108	40	0.5795	12.005
-18	0.6624	1.742	6	0.6303	4.250	42	0.5762	12.689
-16	0.6598	1.889	7	0.6289	4.396	44	0.5729	13.404
-14	0.6572	2.046	8	0.6275	4.546	46	0.5696	14.153
-12	0.6546	2.213	9	0.6261	4.700	48	0.5663	14.926

表 1-4

氮的热容(一)

卡/克分子 $\cdot^{\circ}\text{C}$

压 力 大 气 压	温 度, $^{\circ}\text{C}$						
	-20	-10	0	10	50	100	150
1	9.0940	8.9408	8.8386	8.8045	8.8556	9.1281	9.4687
5				10.9673	9.7071	9.5198	9.6901
10					11.0865	10.0647	9.9796
15					12.9258	10.6608	10.2861
20					15.6165	11.3590	10.5927

表1-5

氨的热容 (二)

卡/克分子·℃

压力大气压	温 度, °C						
	150	175	200	225	250	275	300
20	10.3	10.5	10.5	10.5	10.6	10.7	10.8
40	11.8	11.6	11.2	11.1	11.2	11.2	11.2
60	14.3	13.1	12.3	12.0	11.7	11.7	11.6
80	17.3	14.8	13.6	12.8	12.4	12.2	12.1
100	21.0	16.8	15.0	13.9	13.1	12.8	12.5
125	34.0	19.9	17.3	15.0	14.0	13.4	13.1
150	84.7	28.3	19.1	16.3	14.0	14.0	13.6
175	42.9	41.9	23.5	18.0	15.0	14.9	14.1
200	34.6	43.0	28.3	20.5	17.1	15.5	14.7
250	29.1	34.4	31.4	25.0	19.3	17.4	16.0
300	26.4	27.6	28.4	25.7	22.1	19.4	17.4
400	22.6	23.1	23.3	22.9	22.1	20.4	19.1
500	20.3	21.1	20.9	20.6	20.3	19.7	18.9
600	19.7	19.6	19.5	19.3	19.1	18.8	18.4
700	18.5	18.5	18.3	18.2	18.1	18.1	17.8
800	17.5	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.3
900	16.8	16.9	16.9	16.9	16.9	16.9	16.8
1000	16.6	16.6	16.6	16.5	16.5	16.5	16.5

$$C_{ps} = 5.92 + 8.96 \times 10^{-3}T - 1.764 \times 10^{-6}T^2$$

(1-2)

式中 T——绝对温度, °K,

 C_{ps} ——在T°K下气氨的热容, 卡/克分子·度

2) 液氨的比热

液氨的比热见图1-1

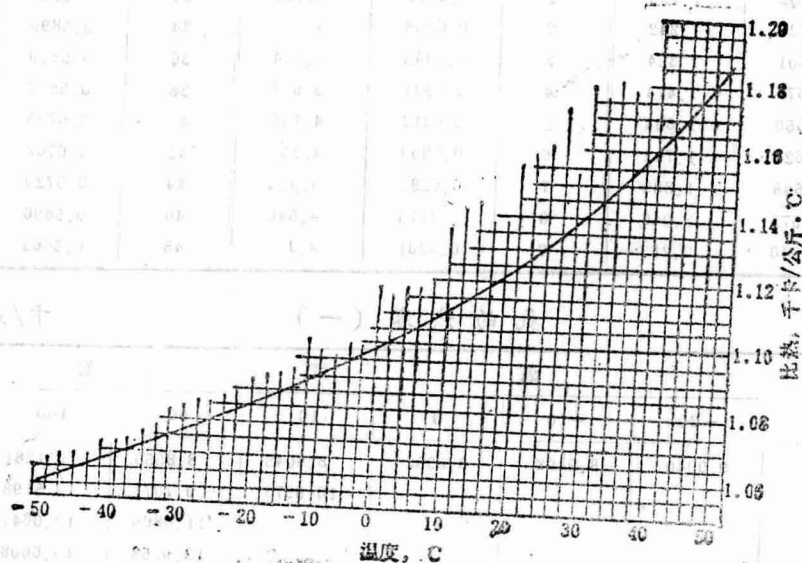


图1-1 液氨比热