

# 现代 化学试剂手册

• 第六分册 • 仪器分析试剂 •

周良璞 万邦和 商振华 刘学良 等编



化学工业出版社

# 现代化学试剂手册

第六分册

## 仪器分析试剂

周良模 万邦和 等编  
商振华 刘学良

化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

ISBN 7-5025-1987-4



9 787502 519872 >

**图书在版编目 (CIP) 数据**

现代化学试剂手册 第6分册: 仪器分析试剂/周良模等编. —北京: 化学工业出版社, 1997.12

ISBN 7-5025-1987-4

I. 现… I. 周… III. ①化学试剂-手册②仪器分析-化学试剂-手册 N. TQ42-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 14765 号

---

**现代化学试剂手册**

第六分册

仪器分析试剂

周良模 万邦和 等编

商振华 刘学良

责任编辑: 汪季鸾

责任校对: 王安达 麻雪丽

封面设计: 于兵

\*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码100029)

新华书店北京发行所经销

北京市昌平振南印刷厂印刷

三河市东柳装订厂装订

\*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 56 1/4 字数 1424 千字

1998年1月第1版 1998年1月北京第1次印刷

印数: 1—4000

ISBN 7-5025-1987-4/TQ·996

定 价: 98.00 元

---

**版权所有 违者必究**

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

## 出版者的话

化学试剂是品种繁多，用途广泛的一大类精细化学品。在国际上，已生产过的化学试剂已多达五万余种，而且随着科学技术的发展和生活的现代化，试剂类别在不断变化，品种在不断增加。经典意义的化学试剂，是指那些在化学实验室使用的各种标准纯度的纯化学物质。随着科学技术的发展，化学试剂的范围早已大大突破了这种经典定义。目前广泛使用的化学试剂，除了用于金属、非金属和有机化合物的定性、定量分析与分离的大量传统品种外，还有用于化学合成的各种反应性试剂。特别是现代科学技术，如光纤通讯、电子工业、核技术、能源、遗传工程、材料科学等的发展，均需要多种标准物质，纯工业原料、高纯试剂、特纯功能材料、生化试剂等等。

为了使广大化学试剂使用者能在浩瀚的试剂海洋中方便地获取有用的信息和资料，我们决定组织出版大型工具书——《现代化学试剂手册》。为了使用方便，本书基本按应用情况划类分册出版。全书拟含通用试剂、化学分析试剂、仪器分析试剂、无机离子显色试剂、生化试剂、临床试剂、元素有机化合物试剂和总索引等分册（书名与册数暂定）。

与同类书相比，本书的主要特色是：

1. 读者对象以试剂应用者为主，兼顾生产者，适用面十分广泛；
2. 收集品种数量多，数据资料齐全；
3. 每个品种均有合成和提纯方法，对于用户十分必要；
4. 尽量收集别名，便于查阅；
5. 各分册都编有中文名称笔划索引、中文名称拼音索引和英文名称索引，最后一册编制总索引，可兼作英汉化学试剂名称词典使用，对于读者检索查阅十分方便。

为了随时解决各分册在编写过程中遇到的各种问题，我社组织了《现代化学试剂手册》的组织协调委员会，主要负责整套书的统筹计划，各分册内容协调和解决手册中出现的共性问题。该委员会的成员有：梁树权、王夔、曹庭礼、张泰、时雨。

编写这套化学试剂多卷集大型工具书，乃初次尝试。因此，一定会有这样或那样的问题，希望广大读者批评指正。

化学工业出版社

1986年1月

# 前 言

仪器分析是分析化学中的一个重要分支。随着科学技术的进步，仪器分析方法发展十分迅速，几乎在所有的组成分析和结构分析中都有广泛的应用，以致有些学者建议将分析化学改名为化学分析学 (Chemical Analytics)。

仪器分析广泛使用化学试剂，用于样品的定性、定量、组分分离和样品改性等，并通过对光、电、磁、声、热等信息的变化，达到样品分离检测和结构测定的目的。

本分册以色谱分析、光学分析和电化学分析用试剂为主，重点收集 90 年代广泛使用的品种，并汇编、表列了大量同类商品的性能和用途。适合从事分析化学、仪器分析和试剂研制生产行业中技术人员、科研人员和大专院校师生、研究生阅读参考。

本分册第一章气相色谱用试剂由周良模研究员执笔；第二章高效液相色谱用试剂由商振华研究员执笔；第三章平面色谱用试剂、第五章仪器分析用溶剂和分离剂、第六章光学分析用试剂 (一)、第七章光学分析用试剂 (二)、第八章电化学分析用试剂、第九章波谱及其他仪器分析用试剂由万邦和研究员执笔；第四章色谱衍生试剂由刘学良博士执笔。参加本分册编写的还有刘维琐、王清海、朱道乾、李忠生、王巧云和于才洲等同志。本分册第一、二、四章由周良模定稿，其他各章由万邦和定稿。中、英文索引由刘学良和万邦和完成。

由于作者水平所限，书中不妥之处在所难免，恳请广大读者和专家指正。

作者于中国科学院大连化学物理研究所

1996 年

## 编 辑 说 明

本分册以 90 年代广泛使用的色谱、光学和电化学分析用试剂为重点,介绍了各类试剂的名称、结构、理化性质、理化参数、制备方法和用途;并在有关章节简要介绍了该类试剂的作用、意义及同类商品的性质和用途。

本分册试剂编号援引第一分册《通用试剂手册》的编号方法,如 VI-1(1)-0003 为第六分册、第一章、第一节、试剂顺序为第三号的试剂。其中顺序号按试剂的英文名称首字母顺序排列。试剂名称除按照 1980 年中国化学会制定的无机化学和有机化学命名原则命名外,不在规定范围内的试剂名称以行业标准或沿用习惯为准。分子式中各元素符号排列顺序采用 Hill 体系。分子质量以 1995 年国际原子量为准计算。理化性质主要参考 The Merck Index 11th ed., 和 CRC Handbook of Physical Chemistry 60th ed., 等。制备、提纯方法除特殊情况者外,均标明引用文献。

单位和符号执行中华人民共和国国家标准 GB 3100~3102—93。书中量的符号均按有关标准规定。如  $[\alpha]_D^{20}$  代表比旋光度,右上角为测试温度,右下角为测试用钠光 D-线;  $n_D^{20}$  代表折射率,右上角为测试温度,右下角为测试用钠光 D-线;  $d_{20}^{20}$  代表相对密度,右上角为被测样品的温度,右下角为纯水的温度。理化参数中应标明温度而未标明者皆为 25℃。本分册制备方法中在用“份数”表示用量时,除特别注明者外,均系质量份数。

本分册共收集 1287 个品种,遗漏和差错之处难免,恳请广大读者和专家批评指正。

## 内 容 提 要

本书为《现代化学试剂手册》第六分册——仪器分析试剂。全书共分九章，即气相色谱用试剂、高效液相色谱试剂、平面色谱试剂、色谱衍生化试剂、仪器分析用溶剂和分离剂、光学分析试剂（一）、光学分析试剂（二）、电化学分析试剂、波谱及其他仪器分析试剂等，共收集了1287个品种，分别介绍了它们的名称、结构式、理化性质、理化参数、制备方法和用途等。

本书可供从事仪器分析、试剂研制和开发的技术人员、科研人员及大专院校师生、研究生参考的工具书。

# 目 录

<b>第一章 气相色谱试剂</b> .....	1
第一节 流动相.....	1
第二节 载气净化剂.....	10
第三节 硅藻土载体.....	13
第四节 载体改性剂.....	19
第五节 非硅藻土载体.....	20
第六节 吸附剂.....	21
第七节 固定液.....	31
<b>第二章 高效液相色谱试剂</b> .....	68
第一节 高效液相色谱洗脱剂及溶剂.....	70
第二节 液固色谱固定相.....	96
第三节 化学键合相色谱固定相.....	104
第四节 离子交换色谱固定相.....	114
第五节 凝胶过滤和凝胶渗透色谱固定相（体积排阻色谱）.....	132
<b>第三章 平面色谱试剂</b> .....	144
<b>第四章 色谱衍生化试剂</b> .....	201
第一节 酯化试剂.....	201
第二节 酰化试剂.....	207
第三节 席夫碱试剂.....	218
第四节 二硝基苯试剂.....	228
第五节 硅烷化试剂.....	231
第六节 气相色谱手性衍生试剂.....	289
第七节 紫外衍生试剂.....	304
第八节 荧光衍生试剂.....	315
第九节 电化学衍生试剂.....	328
第十节 液相色谱手性衍生试剂.....	330
<b>第五章 仪器分析用溶剂和分离剂</b> .....	347
第一节 溶剂.....	347
第二节 分离剂.....	367
<b>第六章 光学分析试剂（一）分光光度法试剂</b> .....	415
<b>第七章 光学分析试剂（二）其他光学分析试剂</b> .....	588
第一节 荧光分析试剂.....	588
第二节 发射光谱试剂.....	635
第三节 红外光谱试剂.....	639
第四节 浊度分析试剂.....	642



第五节 原子吸收光度法试剂	644
第六节 X 射线荧光光谱试剂	657
<b>第八章 电化学分析试剂</b>	<b>662</b>
第一节 极谱、伏安法分析试剂	662
第二节 电位测定用 电极和试剂	700
第三节 其他电化学分析试剂	755
<b>第九章 波谱及其他仪器分析试剂</b>	<b>767</b>
第一节 核磁共振波谱分析试剂	767
第二节 显微镜分析试剂	783
第三节 其他试剂	787
<b>通用符号表</b>	<b>795</b>
<b>中文名称笔画索引</b>	<b>796</b>
<b>汉语拼音索引</b>	<b>822</b>
<b>英文名称索引</b>	<b>856</b>

## 第一章 气相色谱试剂

气相色谱(Gas chromatography)是用气体作流动相(Mobile phase),以液体、键合液体(Bonded liquid)或固体吸附剂作固定相(Stationary phase)的色谱过程。利用不同组分在流动相和固定相之间分配系数或吸附能力的差别,经过在两相间连续、许许多多的质量交换达到不同组分分离的目的。用气体作流动相,液体或键合液体(两者均匀分布在载体或毛细管内壁)作固定相的色谱过程称气液色谱(Gas-liquid chromatography)又称气液分配色谱(Gas-liquid partition chromatography)。用气体作流动相,固体吸附剂为固定相的则称气固色谱(Gas-solid chromatography)又称气体吸附色谱(Gas adsorption chromatography)。

气相色谱应用范围十分广泛。凡在色谱操作条件下热稳定、有足够蒸气压的组分都可分析。色谱柱的柱温度已可达 450℃左右,终沸点为 750℃的重油馏分也可用气相色谱分析。

气相色谱用试剂主要包括流动相和固定相用试剂两方面,它们是气相色谱分析中不可缺少的基本材料。

### 第一节 流动相

气相色谱的流动相即是载气(Carrier gas)。它是推动样品在两相运动的动力。尽管,在气相色谱中不同的流动相并不改变色谱柱的选择性,但它对色谱柱的柱效、分析时间、柱压降、检测器的灵敏度(主要参数是扩散系数、粘度、导热系数、电离势以及电子在载气里的能量等)以及色谱分析的最小检知量是有影响的,有的甚至有很大的影响。

一般载气的扩散系数越大,则样品气相传质速率越快,达到一定分离度所需的时间就越少,有利于快速色谱分析。载气粘度小,则达到相同载气线速时,所需的柱压降就小。载气的导热系数和样品的导热系数差别越大,用热导检测器(Thermal conductivity detector)时,样品的检测灵敏度就越高,出现不正常响应峰的可能性就小得多。另外,如载气电离势高,则在非弹性碰撞中可被其电离的样品也就越多,它可检测的样品范围就宽。相反,如使用电子捕获检测器(Electron capture detector),电子在载气里的能量越小,则越有利于电负性样品捕获电子,则提高检测灵敏度。当然,载气的选择还要考虑使用中的安全因素、价格因素以及在操作条件下和固定相或样品有无化学反应的可能性等。

载气中的杂质一般都要严格去除,特别是水汽,痕量氧气及少量烃类气体等。水汽和氧气不仅会促使多种固定相(如聚酯、聚乙二醇、聚硅氧烷、高分子小球及碳分子筛等)变质,而且会影响检测器的灵敏度和稳定性。少量烃类气体的存在会提高氢火焰离子化检测器(Hydrogen flame ionization detector)信号的本底水平和噪声值。痕量分析时载气中杂质除提高检测信号的本底水平和噪声外,还将直接影响和杂质有关的样品分析的最小检知量。

气相色谱中常用载气有氢气、氮气、氩气、氦气和二氧化碳等,其中二氧化碳还被作为超临界流体色谱的流动相广泛使用。

1107625

## 氩 气

W-1(1)-0001

Argon

分子式 Ar

分子量 39.95

**理化性质** 无色、无臭、无味的惰性气体，微溶于乙醇，在水中的溶解度：4.47mL/100mL 水(0℃)，2.86mL/100mL 水(20℃)；标准态时， $\rho$  1.784g/cm<sup>3</sup>， $\rho(-186)$  1.402 g/cm<sup>3</sup>(液态)， $\rho(-233)$  1.65(晶体)g/cm<sup>3</sup>；低温时易为活性炭吸附；低压放电时呈红色。

**制备方法**<sup>[1]</sup> 在空分过程中或从合成氨尾气中分取。将空分制氧时分取的含氩馏分，经加氢去氧、深冷精馏脱氮，可得 99.99%~99.999%的高纯氩。

**用途** 当用氩离子化检测器或改性氩离子化检测器时要求使用高纯氩载气。由于介稳态氩的能量为 11.6eV，因此除 C<sub>2</sub> 以下的烃类气体外，它几乎可电离所有的有机物，并有很高的灵敏度。改性氩离子化检测器除用高纯氩作载气外，还添加少量改性气体从色谱柱后进入检测器，用于测定高纯氩气中即 99.999%或 99.9999%氩气中痕量杂质气体<sup>[2]</sup>。氩气中添加 5%~10%甲烷或添加 1%氢气

表 1-1 国家氩气技术标准

气体名称	高纯氩含量要求		
	优 等	一 等	合 格
Ar, % (体积)	99.9996	99.9993	99.999
N <sub>2</sub> , ×10 <sup>-6</sup> ≤	2	4	5
O <sub>2</sub> , ×10 <sup>-6</sup> ≤	1	1	2
H <sub>2</sub> , ×10 <sup>-6</sup> ≤	0.5	1	1
总烃(以 CH <sub>4</sub> 计), ×10 <sup>-6</sup> ≤	0.5	1	2
H <sub>2</sub> O, ×10 <sup>-6</sup> ≤	1	2.6	4

还可提高电子捕获检测器检测电负性样品的灵敏度<sup>[2]</sup>。GB 10624—89 氩气的技术条件见表 1-1。

## 参 考 文 献

[1] 化学工业出版社编写组，《中国化工产品大全》(上)，407 页，化学工业出版社，北京，1994 年。

[2] 周良模等，《气相色谱新技术》，399 页，科学出版社，北京，1994 年。

## 二 氧 化 碳

W-1(1)-0002

Carbon dioxide

分子式 CO<sub>2</sub>

分子量 44.01

**理化性质** 无色、无臭、无毒、不燃烧的气体，在 5.07MPa 时，可压缩成无色液体。液态二氧化碳冷却到 -21.1℃，0.415MPa 时变为固态，称为干冰(Carbonice)。二氧化碳可溶于水，0.101MPa 时 1mL 水可溶解约 1.75mL 二氧化碳。标准态时  $\rho$  1.977g/cm<sup>3</sup>。液态时  $\rho$  -56.5℃ (0.52MPa)；升华点 -78.5℃； $\rho(-37℃)$  1.107g/cm<sup>3</sup>， $\rho(-79℃)$  1.56g/cm<sup>3</sup>(固态)；临界温度 31.1℃；临界压力 7.39MPa；临界密度 0.466g/cm<sup>3</sup>。二氧化碳在纯态时不腐蚀金属等，化学稳定性较好。

**制备方法**<sup>[1]</sup> 主要有煅烧法、发酵气回收以及副产气回收法等。其中煅烧法是高温煅烧石灰石(或白云石)，产生的二氧化碳经水洗除去杂质后压缩至钢瓶中。

**用途** 早期，二氧化碳主要用于体积色谱中作载气，要求不纯物总量少于 1%。近年来二氧化碳的最主要应用是作为超临界流体色谱和超临界流体抽提的流动相<sup>[2]</sup>。它除具有上述好的临界性质外，与不同检测方法如质谱、傅氏变换红外光谱、紫外检测器、氢火焰离子化检测器等匹

配性能都较好,是较理想的非极性超临界流体<sup>[2]</sup>。为了提高二氧化碳流动相的极性,人们采用了在二氧化碳中,添加少量极性改性剂(Modifier)的办法。常用改性剂是甲醇、异丙醇等。添加极性改性剂的效果十分明显,它起到提高流动相极性,提高对极性溶质的溶解度以及对色谱柱去活等3方面的作用。

GB 6052—85规定一类二氧化碳中二氧化碳的含量大于99.8%(体积)。水分小于0.005%(体积),并要求无异臭。

作为超临界流体抽提和超临界流体色谱的流动相,相对密度是关键数据。不同温度、不同压力时二氧化碳的相对密度见表1-2<sup>[3]</sup>。

表 1-2 超临界二氧化碳不同温度、压力时的相对密度

相对密度 $d_4^{20}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{30}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{45}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{65}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$
0.282	80.331	0.810	170.962	0.242	80.163	0.775	168.902
0.304	82.040	0.814	174.647	0.255	81.926	0.779	171.933
0.339	84.202	0.819	178.474	0.273	84.039	0.783	175.080
0.378	86.053	0.823	182.449	0.290	85.914	0.788	178.346
0.431	88.023	0.827	186.574	0.312	87.970	0.792	181.735
0.489	90.056	0.832	190.855	0.339	90.097	0.797	185.251
0.537	92.166	0.836	195.297	0.370	92.230	0.801	188.897
0.572	94.290	0.841	199.904	0.400	94.118	0.805	192.678
0.594	96.049	0.845	204.681	0.436	96.435	0.810	196.598
0.616	98.283	0.849	209.633	0.471	98.167	0.814	200.661
0.634	100.510	0.854	214.766	0.502	100.104	0.819	204.871
0.647	102.495	0.858	220.084	0.528	102.003	0.823	209.233
0.660	104.796	0.863	225.592	0.555	104.247	0.827	213.751
0.669	106.527	0.867	231.296	0.572	106.009	0.832	218.430
0.678	108.435	0.871	237.201	0.590	108.046	0.836	223.275
0.687	110.533	0.876	243.314	0.607	110.422	0.841	228.291
0.695	112.839	0.880	249.638	0.621	112.469	0.845	233.481
0.709	116.725	0.885	256.181	0.634	114.783	0.849	238.852
0.717	119.627	0.889	262.947	0.643	116.492	0.854	244.408
0.726	122.801	0.893	269.943	0.651	118.348	0.858	250.154
0.731	124.496	0.898	277.175	0.660	120.366	0.863	256.096
0.735	126.268	0.902	284.648	0.669	122.559	0.867	262.239
0.739	128.118	0.907	292.368	0.678	124.942	0.871	268.588
0.744	130.049	0.911	300.342	0.682	126.209	0.876	275.149
0.748	132.065	0.915	308.576	0.691	128.907	0.880	281.927
0.753	134.168	0.920	317.976	0.695	130.341	0.885	288.928
0.757	136.362	0.924	325.848	0.700	131.836	0.889	296.158
0.761	138.649	0.929	334.899	0.704	133.392	0.893	303.623
0.766	141.033	0.933	344.235	0.709	135.014	0.898	311.327
0.770	143.517	0.937	353.863	0.713	136.702	0.898	319.278
0.775	146.104	0.942	363.790	0.717	138.461	0.907	327.482
0.779	148.798	0.946	374.021	0.722	140.291	0.911	335.943
0.783	151.603	0.951	384.564	0.726	142.196	0.915	344.609
0.788	154.522	0.955	395.426	0.731	144.178	0.920	353.666
0.792	157.558	0.959	406.613	0.735	146.241	0.924	362.940
0.797	160.717	0.964	418.132	0.739	148.387	0.929	372.497
0.801	164.001	0.968	429.990	0.744	150.618	0.933	382.345
0.805	167.414	0.973	442.195	0.748	152.938	0.937	392.488
				0.753	155.351	0.942	402.935
				0.757	157.858	0.946	413.691
				0.761	160.463	0.951	424.764
				0.766	163.170	0.955	436.159
				0.770	165.982	0.959	447.885
						0.964	459.948

续表

相对密度 $d_4^{20}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{20}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{20}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{20}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$
0.220	80.186	0.748	173.977	0.194	80.538	0.682	177.461
0.233	82.502	0.753	176.696	0.202	82.699	0.687	179.515
0.242	83.948	0.757	179.514	0.211	84.771	0.691	181.636
0.255	85.980	0.761	184.435	0.220	86.758	0.695	183.825
0.268	87.862	0.766	185.461	0.229	88.664	0.700	186.086
0.286	90.161	0.770	188.598	0.238	90.494	0.704	188.421
0.304	92.250	0.775	191.847	0.246	92.253	0.709	190.832
0.321	94.159	0.779	195.213	0.260	94.765	0.713	193.321
0.343	96.337	0.783	198.699	0.268	96.363	0.717	195.892
0.365	98.334	0.788	202.309	0.282	98.653	0.722	198.548
0.387	100.201	0.792	206.046	0.290	100.115	0.726	201.290
0.414	102.340	0.797	209.916	0.304	102.220	0.731	204.122
0.436	104.094	0.801	213.920	0.317	104.229	0.735	207.047
0.462	106.240	0.805	218.065	0.330	106.157	0.739	210.068
0.484	108.125	0.810	222.353	0.343	108.013	0.744	213.187
0.506	110.162	0.814	226.789	0.361	110.400	0.748	216.409
0.528	112.419	0.819	231.378	0.374	112.137	0.753	219.735
0.546	114.436	0.823	236.123	0.392	114.408	0.757	223.169
0.559	116.101	0.827	241.030	0.405	116.091	0.761	226.715
0.577	118.569	0.832	246.102	0.422	118.333	0.766	230.376
0.590	120.636	0.836	251.345	0.435	120.030	0.770	234.156
0.612	124.578	0.841	256.764	0.453	122.337	0.775	238.058
0.621	126.356	0.845	262.363	0.467	124.120	0.779	242.085
0.629	128.265	0.849	268.147	0.480	125.965	0.783	246.242
0.638	130.316	0.854	274.121	0.497	128.549	0.788	250.531
0.647	132.521	0.858	280.290	0.511	130.603	0.792	254.958
0.656	134.894	0.863	286.660	0.519	132.038	0.797	259.526
0.660	136.148	0.867	293.236	0.533	134.303	0.801	264.238
0.669	138.798	0.871	300.023	0.546	136.721	0.805	269.100
0.673	140.199	0.875	307.027	0.555	138.430	0.810	274.115
0.678	141.652	0.880	314.253	0.563	140.224	0.814	279.288
0.682	143.161	0.885	321.706	0.572	142.111	0.819	284.622
0.687	144.727	0.889	329.393	0.581	144.099	0.823	290.123
0.691	146.352	0.893	337.320	0.590	146.196	0.827	295.795
0.695	148.039	0.898	345.491	0.599	148.411	0.832	301.642
0.700	149.789	0.902	353.914	0.607	150.753	0.836	307.669
0.704	151.606	0.907	362.593	0.612	151.976	0.841	313.881
0.709	153.492	0.911	371.536	0.616	153.234	0.845	320.283
0.713	155.448	0.915	380.747	0.625	155.863	0.849	326.879
0.717	157.478	0.920	390.235	0.629	157.237	0.854	333.676
0.722	159.584	0.924	400.004	0.634	158.652	0.858	340.677
0.726	161.770	0.929	410.061	0.638	160.111	0.863	347.888
0.731	164.036	0.933	420.412	0.643	161.614	0.867	355.315
0.735	166.388	0.937	431.065	0.647	163.164	0.871	362.962
0.739	168.826	0.942	442.025	0.651	164.763	0.876	370.836
0.744	171.355	0.946	453.300	0.656	166.411	0.880	378.941
				0.660	168.111	0.885	387.283
				0.665	169.866	0.889	395.868
				0.669	171.676	0.893	404.702
				0.673	173.543	0.898	413.790
				0.678	175.471	0.902	423.139

续表

相对密度 $d_4^{t_0}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{t_0}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{80}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{80}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$
0.176	80.774	0.643	192.164	0.163	80.921	0.458	157.716
0.180	82.119	0.647	194.143	0.167	82.488	0.462	158.257
0.189	84.736	0.651	195.176	0.172	84.032	0.467	159.353
0.194	86.010	0.656	198.266	0.180	87.047	0.475	161.583
0.202	88.491	0.660	200.414	0.185	88.520	0.484	163.865
0.211	90.888	0.665	202.623	0.189	89.971	0.489	165.030
0.216	92.056	0.669	204.894	0.194	91.400	0.497	167.408
0.224	94.335	0.673	207.229	0.198	92.809	0.506	169.858
0.233	96.539	0.678	209.632	0.202	94.196	0.511	171.112
0.242	98.675	0.682	212.103	0.211	96.913	0.519	173.681
0.251	100.745	0.687	214.646	0.216	98.243	0.524	174.999
0.260	102.754	0.691	217.262	0.224	100.848	0.528	176.340
0.268	104.705	0.695	219.954	0.229	102.125	0.533	177.704
0.277	106.605	0.700	222.725	0.238	104.628	0.537	179.094
0.286	108.455	0.704	225.577	0.246	107.070	0.541	180.510
0.295	110.259	0.709	228.512	0.255	109.453	0.546	181.953
0.304	112.022	0.713	231.534	0.264	111.781	0.550	183.424
0.317	114.596	0.717	234.645	0.268	112.927	0.555	184.925
0.326	116.271	0.722	237.848	0.273	114.060	0.559	186.455
0.339	118.730	0.726	241.145	0.277	115.182	0.563	188.017
0.348	120.339	0.731	244.540	0.286	117.392	0.568	189.611
0.361	122.717	0.735	248.036	0.295	119.562	0.572	191.239
0.370	124.284	0.739	251.635	0.304	121.695	0.581	194.600
0.383	126.616	0.744	255.341	0.312	123.795	0.585	196.336
0.392	128.163	0.748	259.157	0.321	125.866	0.590	198.111
0.405	130.485	0.753	263.086	0.330	127.911	0.594	199.925
0.414	132.038	0.757	267.132	0.339	129.935	0.599	201.780
0.427	134.388	0.761	271.298	0.348	131.941	0.603	203.678
0.440	136.774	0.766	275.587	0.356	133.933	0.607	205.620
0.449	138.393	0.770	280.003	0.365	135.915	0.612	207.607
0.458	140.039	0.775	284.550	0.374	137.891	0.616	209.642
0.471	142.573	0.779	289.231	0.383	139.864	0.621	211.742
0.480	144.313	0.783	294.050	0.392	141.840	0.625	213.857
0.489	146.099	0.788	299.011	0.400	143.822	0.629	216.042
0.502	148.878	0.792	304.118	0.409	145.814	0.634	218.280
0.511	150.806	0.797	309.374	0.418	147.822	0.638	220.573
0.519	152.802	0.801	314.784	0.427	149.849	0.643	222.924
0.528	154.873	0.805	320.352	0.436	151.901	0.647	225.333
0.533	155.938	0.810	326.083	0.445	153.983	0.651	227.803
0.541	158.133	0.814	331.980	0.449	155.036	0.656	230.335
0.550	160.419	0.819	338.047	0.453	156.100	0.660	232.933
0.559	162.806	0.823	344.290				
0.563	164.039	0.827	350.713				
0.572	166.589	0.832	357.321				
0.581	169.261	0.836	364.118				
0.590	172.061	0.841	371.108				
0.599	175.000	0.845	378.298				
0.603	176.525	0.849	385.692				
0.607	178.089	0.854	393.294				
0.612	179.693	0.858	401.110				
0.616	181.338	0.863	409.146				
0.621	183.026	0.867	417.406				
0.625	184.758	0.871	425.896				
0.629	186.536	0.876	434.621				
0.634	188.362	0.880	443.587				
0.638	190.238	0.885	452.800				

续表

相对密度 $d_4^{80}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{90}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{90}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{100}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$
0.665	235.597	0.150	79.916	0.440	169.070	0.141	79.806
0.669	238.330	0.154	81.702	0.449	171.658	0.150	83.729
0.673	241.134	0.158	83.463	0.458	174.294	0.158	87.556
0.678	244.011	0.163	85.200	0.467	176.984	0.167	91.291
0.682	246.964	0.167	86.912	0.475	179.734	0.176	94.939
0.687	249.996	0.172	88.602	0.484	182.550	0.185	98.503
0.691	253.107	0.176	90.269	0.493	185.439	0.194	101.990
0.695	256.302	0.180	91.914	0.502	188.409	0.202	105.403
0.700	259.582	0.185	93.538	0.511	191.466	0.211	108.746
0.704	262.950	0.189	95.141	0.519	194.618	0.220	112.025
0.709	266.409	0.194	96.723	0.528	197.874	0.229	115.243
0.709	266.409	0.198	98.286	0.537	201.240	0.238	118.404
0.713	269.961	0.198	99.830	0.546	204.727	0.246	121.514
0.717	273.610	0.202	101.355	0.555	208.341	0.255	124.575
0.722	277.358	0.207	102.862	0.563	212.094	0.264	127.593
0.726	281.208	0.211	104.351	0.572	215.994	0.273	130.571
0.731	285.163	0.216	105.823	0.581	220.052	0.282	133.513
0.735	289.277	0.220	107.279	0.590	224.278	0.290	136.424
0.739	293.401	0.224	108.719	0.599	228.682	0.299	139.307
0.744	297.690	0.229	110.144	0.607	233.278	0.308	142.167
0.748	302.097	0.233	111.555	0.616	238.077	0.317	145.008
0.753	306.625	0.242	112.949	0.625	243.091	0.326	147.834
0.757	311.277	0.251	114.326	0.634	248.335	0.334	150.648
0.761	316.057	0.260	115.698	0.643	253.823	0.343	153.456
0.766	320.968	0.266	117.057	0.651	259.571	0.352	156.261
0.770	326.015	0.273	122.357	0.660	265.593	0.361	159.067
0.775	331.200	0.282	124.945	0.669	271.908	0.370	161.880
0.779	336.528	0.286	126.225	0.678	278.532	0.378	164.702
0.783	342.001	0.295	128.759	0.687	285.486	0.387	167.540
0.788	347.625	0.299	130.014	0.695	292.787	0.396	170.398
0.792	353.403	0.308	132.503	0.704	300.458	0.405	173.280
0.797	359.340	0.317	134.966	0.713	308.519	0.414	176.191
0.801	365.438	0.321	136.189	0.722	316.994	0.422	179.138
0.805	371.703	0.330	138.622	0.731	325.905	0.431	182.125
0.810	378.139	0.334	139.832	0.740	335.279	0.440	185.157
0.814	384.749	0.343	142.242	0.748	345.139	0.449	188.242
0.819	391.539	0.352	144.643	0.757	355.514	0.458	191.385
0.823	398.513	0.361	147.039	0.766	366.431	0.467	194.592
0.827	405.676	0.370	149.433	0.775	377.918		
0.827	405.676	0.378	151.830	0.783	390.007		
0.832	413.032	0.387	154.234	0.792	402.728		
0.836	420.586	0.396	156.649	0.801	416.114		
0.836	420.586	0.405	159.081	0.810	430.199		
0.841	428.342	0.414	161.534	0.819	445.016		
0.845	436.306	0.422	164.013	0.827	460.603		
0.849	444.483	0.431	166.523				

续表

相对密度 $d_4^{100}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{110}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{110}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{120}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$
0.475	197.869	0.132	79.025	0.458	208.434	0.128	79.935
0.484	201.225	0.141	83.316	0.467	212.163	0.132	82.246
0.493	204.666	0.150	87.510	0.475	215.974	0.136	84.534
0.502	208.200	0.158	91.614	0.484	219.875	0.141	86.799
0.511	211.834	0.167	95.631	0.493	223.873	0.150	91.262
0.519	215.577	0.176	99.566	0.502	227.977	0.158	95.640
0.528	219.436	0.185	103.423	0.511	232.193	0.167	99.936
0.537	223.422	0.194	107.208	0.519	236.532	0.176	104.156
0.546	227.543	0.202	110.924	0.528	241.002	0.185	108.304
0.555	231.807	0.211	114.577	0.537	245.612	0.194	112.384
0.563	236.227	0.220	118.169	0.546	250.372	0.202	116.401
0.572	240.811	0.229	121.706	0.555	255.292	0.211	120.359
0.581	245.570	0.238	125.192	0.563	260.382	0.220	124.263
0.590	250.516	0.246	128.632	0.572	265.655	0.229	128.118
0.599	255.660	0.255	132.029	0.581	271.119	0.238	131.926
0.607	261.015	0.264	135.388	0.590	276.789	0.246	135.693
0.616	266.593	0.273	138.712	0.599	282.676	0.255	139.424
0.625	272.409	0.282	142.007	0.607	288.793	0.264	143.122
0.634	278.476	0.290	145.276	0.616	295.153	0.273	146.792
0.643	284.810	0.299	148.524	0.625	301.771	0.282	150.438
0.651	291.426	0.308	151.755	0.634	308.662	0.290	154.064
0.660	298.340	0.317	154.973	0.643	315.841	0.299	157.675
0.669	305.571	0.326	158.182	0.651	323.324	0.308	161.276
0.678	313.137	0.334	161.387	0.660	331.130	0.317	164.870
0.687	321.056	0.343	164.592	0.669	339.275	0.326	168.462
0.695	329.350	0.352	167.802	0.678	347.778	0.334	172.057
0.704	338.038	0.361	171.020	0.687	356.660	0.343	175.660
0.713	347.144	0.370	174.252	0.695	365.941	0.352	179.274
0.722	356.690	0.378	177.502	0.678	347.778	0.361	182.904
0.731	366.701	0.387	180.776	0.687	356.660	0.370	186.557
0.739	377.201	0.396	184.077	0.695	365.941	0.378	190.236
0.748	388.217	0.405	187.412	0.704	375.642	0.387	193.946
0.757	399.776	0.414	190.786	0.713	385.786	0.396	197.693
0.766	411.907	0.422	194.203	0.722	396.397	0.405	201.483
0.775	424.638	0.431	197.671	0.731	407.499	0.414	205.320
0.783	438.001	0.440	201.194	0.739	419.118	0.422	209.211
0.792	452.027	0.449	204.780	0.748	431.280	0.431	213.162
0.801	466.749			0.757	444.014	0.440	217.178
				0.766	457.347	0.449	221.267
				0.775	471.311	0.458	225.436
						0.467	229.690



续表

相对密度 $d_4^{20}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{20}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{20}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$	相对密度 $d_4^{20}$	压 力 $10^{-1}\text{MPa}$
0.475	234.039	0.546	273.193	0.616	323.723	0.687	392.259
0.484	238.489	0.555	278.771	0.625	331.144	0.695	402.522
0.493	243.048	0.563	284.537	0.634	338.858	0.704	413.230
0.502	247.725	0.572	290.500	0.643	346.882	0.713	426.406
0.511	252.528	0.581	296.674	0.651	355.232	0.722	436.075
0.519	256.467	0.590	303.069	0.660	363.925	0.731	448.261
0.528	262.551	0.599	309.700	0.669	372.981	0.739	460.990
0.537	267.789	0.607	316.580	0.678	382.419	0.748	474.290

## 参 考 文 献

- [1] 化学工业出版社编写组,《中国化工产品大全》(上),403页,化学工业出版社,北京,1994年。  
 [2] 周良模等,《气相色谱新技术》,247,250页,科学出版社,北京,1994年。  
 [3] Bruno, T. J. and Svoronos, P. D. N., "CRC Handbook of Basic Tables for Chemical Analysis", p. 164, CRC Press, Boca Raton, 1989.

## 氦 气

VI-1(1)-0003

## Helium

分子式 He

分子量 4.00

**理化性质** 无色、无臭、无味的惰性气体,化学性质稳定,一般不生成化合物。fp -273.2℃; bp -268.9℃; 标准态时  $\rho$  0.1785g/cm<sup>3</sup>,  $\rho(-270.3^\circ\text{C})$  0.147g/cm<sup>3</sup>(液态)。低压放电时呈深黄色。

**制备方法** 从天然气中提取,经净化预处理后,低温冷凝提取粗氦,然后经深冷、精制,制备精氦<sup>[1]</sup>。

氦气的精制还可利用氦能透过微孔石英毛细管的特性。让氦气通过加热到400~500℃的微孔石英毛细管束,氦气透过毛细管壁,而杂质气体如H<sub>2</sub>、Ne、O<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O等皆被除去<sup>[2]</sup>。

**用途** 氦的扩散系数和氢气相似都较大,因此它用于气相色谱快速分析,特别是毛细管色谱的快速分析很有利。热导检测器用氦载气时性能也较好,除氢气外,对其他所有有机物或无机气体都有较高的响应值。氦气的另一个重要的特点是它有很高的介稳态能量19.8eV,除氦以外,它几乎可电离所有的有机物和无机气体。用氦作载气的氦离子化检测器是仅有的,可直接进样测定10<sup>-9</sup>级无机气体的检测器。氦气的最大缺点是价格昂贵。氦离子化检测器要求氦载气的纯度为:He>99.999%(体积);Ne含量为5~25×10<sup>-6</sup>之间,H<sub>2</sub>≤0.1×10<sup>-6</sup>,CH<sub>4</sub>≤0.01×10<sup>-6</sup>,H<sub>2</sub>O≤1.5×10<sup>-6</sup>,N<sub>2</sub>≤5.0×10<sup>-6</sup>,O<sub>2</sub>≤0.6×10<sup>-6</sup>,Ar≤0.05×10<sup>-6</sup>,CO<sub>2</sub>≤0.05×10<sup>-6</sup><sup>[1]</sup>。GB 4844-84氦气的技术标准见表1-3。

表 1-3 国家氦气技术标准

气体名称	含 量			
	高 纯	纯氦一级	纯氦二级	工业氦一级
He, %(体积)	99.999	99.995	99.99	99.9
Ne, ×10 <sup>-6</sup> ≤	4.0	15	25	} 800
H <sub>2</sub> , ×10 <sup>-6</sup> ≤	1.0	3.0	5.0	
O <sub>2</sub> , ×10 <sup>-6</sup> ≤	1.0	3.0	5.0	
N <sub>2</sub> , ×10 <sup>-6</sup> ≤	2.0	10	20	50