

国务院经济贸易办公室资助

第VA族元素 物理化学数据手册

魏传德 谭嗣夫 主编

As Sb Bi

中南工业大学出版社

国务院经济贸易办公室资助

第 V A 族元素

物理化学数据手册

主 编：张传福 谭鹏夫
编写人员：张传福 谭鹏夫 李作刚 曾德文
范其明 段一新 徐盛明 张多默
卢松涛

中南工业大学出版社

[湘]新登字 010 号

第 VA 族元素物理化学数据手册

主编 张传福 谭鹏夫

责任编辑:秦瑞卿

*

中南工业大学出版社出版发行
核工业中南 230 研究所印刷厂印装
湖南省新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16 印张:23.5 字数:598 千字

1995 年 6 月第 1 版 1995 年 6 月第 1 次印刷

印数:001—500

*

ISBN 7-81020-752-0/O · 078

定价:100.00 元

本书如有印装质量问题,请直接与生产厂家联系解决

序 言

張伝福教授他9人の先生の著作になる第V族元素物化手冊が発行されぬこよになり、序言を書かせていただくことは誠に光栄であります。といたしますのは、張伝福先生が長年東京大学で、研鑽されていたころ、すでに、このようなハンド・ブックの必要を痛感され、当時まだ、市販のソフト・プログラムがないとき、データ・ベースのプログラムを御自身で開発され、多くの文献から、熱力学のデータ・ベースを作られていました。その御努力の延長にこのような立派なハンド・ブックが出来上がったものと思います。

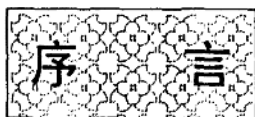
第5族のAs, Sb, Biは銅や鉛の物性に及ぼす有害成分であり、乾式、湿式制鍊の際、その挙動が重要です。また、これら元素の用途も、電子工業、超伝導材、難燃材その他分野において、ますます、広がっています。とくに、これら元素の高純度化は、これら元素を含む新しい材料開発に、要求されているところです。

このような時こ、物理、化学、冶金、材料、合金等にかんする基礎の物性を網羅したこのデータ・ブックが発刊されることは、現在、あらゆる分野において、進歩発展の著しい中國にとって、大変に価値があることと思います。また、このように、As, Sb, Biに關するあらゆるデータがそろっているハンド・ブックは世界的にも見あたりません。世界の多くの研究者にも喜んで有効に利用されるようになることを確信いたします。

日本・東京大学名誉教授
中國・中南工業大学名誉教授 工学博士
日本・千葉工業大学教授

張 佐 吉

1993年11月



我为能在张传福先生等九人编著出版的第V A族元素物理化学数据手册这一著作中撰写序言而深感荣幸。张传福先生长年在日本东京大学留学研究期间，就曾痛感需要有这样一本手册。当时市面上还没有计算机软件程序可买，他就亲自研究开发数据库程序，根据大量的文献编制了热力学数据库。今天之所以能编著出这样一部好著作，是他多年不断努力的结果。

第V A族元素的As、Sb、Bi是影响铜、铅物性的有害成分，在火法冶金和湿法冶金过程中其行为也非常重要。此外，在电子工业、超导材料、阻燃材料及其它应用领域中，这些元素的用途也越来越广泛。特别是在开发含有这些元素的新材料时，还需要把这些元素提炼到具有很高的纯度。

我认为，在这样的背景下编著出版包罗有关物理、化学、冶金、材料、合金等方面基础物性的数据手册，对当今在各个领域中进步和发展都十分显著的中国来说是非常有价值的。

目前，在世界上还没有见到这样一本关于As、Sb、Bi的各种数据都很齐全的手册。我确信，这一部著作必将得到全世界研究人员的有效利用。

日本·东京大学名誉教授
中国·中南工业大学名誉教授 工学博士 后藤佐吉
日本·千叶工业大学教授

一九九三年十一月

• 本序言为后藤佐吉先生为本书所作，此为译文。——编者注

前言

铜矿石中含有的杂质元素对环境的污染及其在粗铜中的富集问题因矿石品位下降而日趋严峻。通常，砷、锑、铋等第ⅤA族元素以硫化物、氧化物、金属互化物或复杂的难熔化合物的形式进入熔炼过程。这些元素在熔炼时不是被挥发出来（带来空气污染问题）或熔入废渣，就是残留在粗铜内（必须在电解精炼时将其除去）。铜电解精炼时，锑、砷和铋不易脱除，因为它们比铜稍活泼而溶入电解液中。铜熔炼中砷、锑、铋等挥发性杂质的行为，对它们在粗铜电解精炼的脱除具有十分重要的关系。采用杂质多的精矿冶炼出的粗铜往往含有As、Sb、Bi等多种杂质，这些杂质在电解过程中生成阳极泥和产生阳极钝化等复杂的行为。另外，这些砷、锑、铋在电解精炼之际和Cu一起析出，不仅降低Cu品位，还影响所得电铜的物理性质。铜中存在微量砷、锑、铋等杂质会严重降低它的延展性、导电率和导热率。杂质相沉积在铜晶格界面上将使铜发生脆变。因而，对第ⅤA族元素在冶炼过程中的行为和机理的研究显得十分重要，目前国内外所出版的数据手册中，还没有一本收集砷、锑、铋的热力学数据较为齐全的数据手册，为满足广大冶金、化工和化学专业的科研工作者的需要，特编此书，以备实际工作和科学研究参考。

我们在编写本书过程中，查阅了大量文献和有关数据手册，所录的数据均是从权威书刊上摘录下来的，书中还介绍了丰富的有关砷、锑和铋的二元相图和三元相图。

在本书的编写过程中，我们尽了极大的努力，但不足之处在所难免，如有错误或数据遗漏，诚请读者提出批评指正意见，以更臻完善。

本书的编写工作是国务院经济贸易办公室资助下达的铜富氧熔池自热熔炼技术引进消化吸收项目的技术开发内容之一（国经贸科1992年310号文件）。参加本书编写的有中南工业大学张传福、谭鹏夫、李作刚、曾德文、中国有色金属总公司科技局的范其明、大冶有色金属公司的段一新、中南工业大学的徐盛明、张多默及南昌有色冶金设计研究院的卢松涛，由张传福和谭鹏夫主编。在国务院经济贸易办公室、国家教育委员会、中国有色金属工业总公司科技局、大冶有色金属公司、中南工业大学的大力支持下，本书才得以顺利完成，还有许多同志和朋友给予了十分热情的帮助，在本书出版之际，谨表示衷心的感谢。

编者

一九九三年十月，于中南工业大学

目 录

序言

前言

1. 第 V A 族元素	(1)
1.1 第 V A 族元素的某些物理性质	(1)
1.2 第 V A 族元素的电离势	(2)
1.3 第 V A 族元素的电负性	(2)
1.4 同位素	(2)
2. 原子和离子半径	(9)
3. 化学键的强度	(10)
3.1 双原子分子内化学键的键强度	(10)
3.2 气态原子的标准生成热	(10)
4. 键长和键角	(11)
5. 磁化率	(14)
6. 密度	(15)
7. 晶体结构	(16)
8. 表面张力	(46)
9. 热导系数	(47)
10. 溶解度	(48)
11. 活度系数	(50)
12. 平衡常数	(51)
12.1 溶度积	(51)
12.2 离解常数	(51)
12.3 配合物的形成常数	(52)
12.4 配合物的稳定常数	(53)
12.5 砷在熔铜中的交互作用系数	(69)
12.6 砷的溶解平衡常数	(70)
13. 第 V A 族元素标准电极电位表	(71)
14. 热力学	(77)
14.1 25°C 时物质的生成热 ΔH_f° , 生成自由能 ΔG_f° , 熵 S° 和热容 C_p°	(77)

14.2	第 V A 族元素及其化合物的 ΔG°	(82)
14.3	第 V A 族元素及其化合物的 $\Delta G_{f,298.15K}^\circ$	(87)
14.4	第 V A 族元素化合物的离解自由能 ΔG_T°	(89)
14.5	其它热力学数据	(90)
14.5.1	在 298.15K 时, 各种砷蒸气的生成热焓	(90)
14.5.2	$3\text{CaO} \cdot \text{As}_2\text{O}_5$ 和 $3\text{MgO} \cdot \text{As}_2\text{O}_5$ 离解压	(90)
14.5.3	亚砷酸盐和砷酸的标准生成自由能	(91)
14.6	高温物质的相对热焓、绝对熵、自由焓函数及热容	(94)
14.7	高温水溶液的摩尔焓、摩尔吉布斯自由能	(119)
15.	第 V A 族元素的化学性质	(137)
16.	相图	(158)
16.1	二元相图	(158)
16.2	三元相图	(288)

1. 第 V A 族元素

1.1 第 V A 族元素的某些物理性质

表 1-1 第 V A 族元素的物理性质

原子序数	符号	原子量	电子构型	密度 (20℃) 10^3kg/m^3	熔点 ℃	沸点 ℃	热导率 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	电阻率 $10^{-4} \Omega/\text{m}$	在地壳里的 重量百分比
33	As	74.9216	[Ar]3d ¹⁰ 4s ² 4p ³	5.72	817	613		35	
				(灰色)	28atm	(升华)			
				2.026					5×10 ⁻⁴
				4.7					
				(黑色)					
51	Sb	121.75	[Kr]4d ¹⁰ 5s ² 5p ³	6.684	630.5	1640	22.5250	39	5×10 ⁻⁵
83	Bi	208.9804	[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ³	9.8	271.3	1560	7.4106	110	1×10 ⁻⁵

本表数据摘自 John A. Dean: 《Lange's Handbook of Chemistry》3-2~5, 第 11 版, 1973, 原子量数据值录自 1981 年国际原子量表。“在地壳里的重量百分比”一栏内的数值摘自 Г. В. Самсонов(Справочник Свойства Элементов) Часть I, 1976.

表 1-1 中各栏内容简介如下:

①原子序数——化学元素中所含原子的核电荷数(等于原子核内质子数)或原子核外电子数,也是化学元素周期表中元素按顺序排列的号码。原子序数是决定化学元素性质的根本因素。

②符号——表示化学元素的化学符号。

③原子量——原子的相对质量,是以质量为 12 的碳原子(符号为 Ar¹²C)作为标准相比较所得的相对质量。

碳有两种质量不同的原子:¹²C 和¹³C,它们在普通纯碳中的百分含量分别为 98.892%和 1.108%,所以平常所谓原子量实指碳原子的平均原子量,也就是 $(12 \times 98.892 + 13 \times 1.108) / 100$ 。原子量末位数,凡平排的准至±1,凡排作下标的准至±3, H 原子末位下标准至±7,印有括号的原子量为半衰期最长的同位素的质量。

④电子构型——原子核外的电子层排布。原子核外的电子是按一定的规律分层排列在核的周围。

⑤密度——一定温度下单位体积元素的质量。本表所列密度数值的单位是 kg/m^3 ,温度除在数值后面括号内注明外,均为 20℃。

⑥熔点——元素的固态与液态在一定压力下呈平衡状态共存时的温度,其值与所处压力有关,本表所列数值除在括号内特别注明外,均为一大气压的压强,即正常熔点。

⑦沸点——液体的饱和蒸气压等于一大气压时的平衡温度。括号内的熔点和沸点均指可能的数值。

⑧**热导率**——导热系数，表示在1秒钟内，温度为1℃时，通过截面积1m²，厚1m的物体的热量J，单位为W/(m·K)表示。它衡量物质的热传导性能。

⑨**电阻率**——在一定温度时，长度为1m，横截面积为1m²的物体的电阻，单位为Ω/m，本表所列数值的温度均为0℃。电阻率数值后面括号内的注，指元素的物态，未注明的为固态。

1.2 第V A族元素的电离势

电离势是指从元素的一个气态原子或离子上移去一个电子所需的最低能量。本表中所列电离势的单位为电子伏特(eV)，I, II……分别代表第一电离势、第二电离势……。

表 1-2 化学元素的电离势表

元素符号	电离势 (eV)					
	I	II	III	IV	V	VI
As	9.81	18.633	28.351	50.13	62.63	127.6
Sb	8.641	16.53	25.3	44.2	56	108
Bi	7.289	16.69	25.56	45.3	56.0	88.3

摘自 Robert C. Weast: 《Handbook of Chemistry and Physics》E-65 第62版, 1982。

1.3 第V A族元素的电负性

元素的电负性按照鲍林 (Pauling) 的定义，是元素分子中一个原子吸引电子的能力。

表 1-3 元素的电负性表 (单位 eV)

	As	Sb	Bi
亚尔南-罗巧数值	2.20	1.82	1.67
鲍林数值	2.18	2.05	2.32
密立根数值	1.75	1.65	

摘自 J. Albert Cotton 和 Geoffrey Wilkinson: 《Advanced Inorganic chemistry》，1972。

1.4 同位素

表 1-4 中各栏内容简介如下：

①**同位素**——核电荷数相同而原子量不同 (即质子数相同而中子数不同) 的同一化学元素的多原子。元素符号左下角的数字表示原子序数，左上角的数字表示质量数 (等于原子核中质子数与中子数之和)。质量数后面带有“m”者代表同质异能素。

②**天然丰度**——自然界中存在的该元素的几种同位素各自所占的百分比。

③**原子量**——是以质量为12的碳原子 (符号为 Ar¹²C) 作为标准相比较而得的原子的相

对质量。后面带有“*”号者其末位数准至±1，带有“**”者准至±3，H原子量末位数准至±7，均表示元素的平均原子量，其数值录自1981年国际原子量表。

④半衰期——在放射性衰变过程中，放射性元素的核数减少到原核数的一半所需的时间。表中y代表年，d代表天，m代表分，s代表秒，ms代表毫秒(10⁻³秒)，μs代表微秒(10⁻⁶秒)。

⑤衰变类型——放射性元素射出粒子的种类，如α-粒子，β-粒子，中子或γ-射线等。表中β⁻代表β-负衰变，放射出负电子；β⁺代表β-正衰变，放射出正电子。α代表α-衰变，放射出α-粒子。n代表放射出中子。p代表放射出质子。EC代表电子俘获。IT代表同质异能跃迁。SF代表自发裂变。

⑥衰变能量——衰变过程中放出的总能量，单位为百万电子伏特(MeV)。

⑦粒子强度——放出粒子的百分比例。

⑧热中子俘获截面——原子核吸收热中子可能性大小的度量，单位为靶恩(barn)，符号为b(1b=10⁻²⁸cm²)或毫靶恩(mb)，截面用符号σ表示。σ_f代表重元素的裂变截面。I代表核自旋或角动量，单位为h/2π(h为普朗克常数)。

⑨μ——核磁矩，单位为核磁子。

表 1-4 同位素表

同位素	天然丰度 %	原子量	半衰期	衰变类型	衰变能量 MeV	粒子能量 MeV	粒子强度	热中子俘获截面	I	μ
As		74.9216 *						4.30±0.1b		
⁷⁵ As			15m	β ⁺ ,EC	3.9	2.9				
⁷⁶ As			53.0m±0.6	β ⁺ ,EC	6.222	1.44 2.14 2.89	10+ 75 6			
⁷⁷ As			62h	β ⁺ ,EC	2.01	0.25 0.81	30%			
⁷⁸ As			26h	β ⁺ ,EC	4.36	0.62 1.027 1.33 1.45 1.84 2.50 3.34	4% 3% 3% 5% 2% 56% 17%			
⁷⁹ As			80.3d	EC	0.37					
^{80m} As			8.0s	IT	0.283					
⁸¹ As			17.9d	β ⁻ β ⁺ ,EC	1.36	0.72 1.35 0.91 1.51	14% 18% 26% 3.5%			
⁸² As	100	74.9216						4.30±0.1b	3/2	+1.439
⁸³ As			26.5h	β ⁻	2.97	0.35 1.20 1.75 2.40 2.96	3% 6% 6% 32% 53%		2	-0.905

续表 1-4

同位素	天然丰度 %	原子量	半衰期	衰变类型	衰变能量 MeV	粒子能量 MeV	粒子强度	热中子俘获截面	I	μ
$^{77}_{33}\text{As}$			38.83h ± 0.05	β^-	0.686	0.165 0.437 0.477 0.684	0.68% 0.6% 1.6% 97%			
$^{78}_{33}\text{As}$			91m	β^-	4.3	1.4 4.1	30% 70%			
$^{79}_{33}\text{As}$			9.0m	β^-	2.2	1.25 1.43 1.70 1.80 2.15	1.5% 0.5% 2% 1.5% 95%			
$^{80}_{33}\text{As}$			15.3s	β^-	6.0	3.0 3.5 3.7 4.1 4.2 4.5 5.3 6.0	0.4% 0.5% 4.3% 3.6% 1.7% 1.4% 32% 56%			
$^{81}_{33}\text{As}$			33s	β^-	3.8	3.8				
Sb		121.75 **						$5 \pm 1b$		
$^{112}_{51}\text{Sb}$			0.9m	β^+, EC						
$^{113}_{51}\text{Sb}$			6.7m	β^+, EC	4.47	1.85 2.42				
$^{111}_{51}\text{Sb}$			3.3m	β^+, EC	6.3	2.7				
$^{115}_{51}\text{Sb}$			31m	β^+, EC	3.03	1.51				
$^{114m}_{51}\text{Sb}$			60m	β^+, EC		1.16				
$^{116}_{51}\text{Sb}$			15m	β^+, EC	4.6	1.5 2.4				
$^{117}_{51}\text{Sb}$			2.8h	β^+, EC	1.82	0.57			5/2	+2.67
$^{118m}_{51}\text{Sb}$			0.87s	IT						
$^{118m}_{51}\text{Sb}$			5.1h	β^+, EC	3.9					
$^{118}_{51}\text{Sb}$			3.5m	β^+, EC	3.7	1.5 2.7			1	± 2.4
$^{119}_{51}\text{Sb}$			38hr	EC			100%		5/2	+3.45

续表 1-4

同位素	天然丰度 %	原子量	半衰期	衰变类型	衰变能量 MeV	粒子能量 MeV	粒子强度	热中子俘获截面	I	μ
$^{120}_{51}\text{Sb}$			15.9m	β^+ , EC	2.69	1.70			1	+2.3
$^{121}_{51}\text{Sb}$	57.3	120.9038						$55 \pm 10 \text{mb}$ ($\text{Sb}^{122\text{m}}$) $6.2 \pm 0.3 \text{b}$ ($\text{Sb}^{122\text{m}}$)	5/2	+3.359
$^{122\text{m}}_{51}\text{Sb}$			4.2m	IT	0.162					
$^{122}_{51}\text{Sb}$			2.8d	β^- β^+ , EC	1.972 1.62	$\beta^+ 0.6$ $\beta^- 0.7$ 1.40 1.97	4% 63% 30%		2	-1.90
$^{123}_{51}\text{Sb}$	42.7	122.9041						$15 \pm 4 \text{mb}$ ($^{121\text{m}2}\text{Sb}$) $30 \pm 8 \text{mb}$ ($^{121\text{m}2}\text{Sb}$) $3.4 \pm 0.8 \text{b}$ (^{121}Sb)	7/2	+2.547
$^{121\text{m}2}_{51}\text{Sb}$			21m	IT	0.035					
$^{121\text{m}1}_{51}\text{Sb}$			93s	IT β^-	0.010					
$^{121}_{51}\text{Sb}$			60.3 $\pm 0.2 \text{d}$	β^-	2.916	0.06 0.23 0.621 0.950 1.01 1.59 1.67 2.317	2% 11% 50% 5% 1.5% 5% 3% 22%	$6.5 \pm 1.5 \text{b}$	3	
$^{123}_{51}\text{Sb}$			2.7y	β^-	0.764	0.1 0.619 0.45 0.299 0.240 0.125	2% 13% 6% 43% 1% 28%			

续表 1-4

同位素	天然丰度 %	原子量	半衰期	衰变类型	衰变能量 MeV	粒子能量 MeV	粒子强度	热中子俘获截面	I	μ
$^{126}_{51}\text{Sb}$			12.5d	β^-	3.7	1.9				
$^{126m}_{51}\text{Sb}$			19m	IT β^-		1.9				
$^{127}_{51}\text{Sb}$			93h	β^-	1.60	0.86 1.11 1.57	50% 20% 30%			
$^{128}_{51}\text{Sb}$			11m	β^-	4.3	2.5				
$^{129}_{51}\text{Sb}$			4.3h	β^-	2.5	1.87				
$^{130}_{51}\text{Sb}$			2.6m	β^-						
$^{131}_{51}\text{Sb}$			25m	β^-						
$^{132}_{51}\text{Sb}$			2.1m	β^-						
$^{133}_{51}\text{Sb}$			4.2m	β^-						
Bi	208.9804 *							$34 \pm 2\text{mb}$		
$^{199}_{83}\text{Bi}$			24m	EC α		5.47	99+ % 0.01%		9/2	
$^{200}_{83}\text{Bi}$			35m	EC	≈ 6.5				7	
$^{201m}_{83}\text{Bi}$			52m	EC α	≈ 4.2 ≈ 4.7	5.28				
$^{201}_{83}\text{Bi}$			1.8h	EC	≈ 4.2				9/2	
$^{202}_{83}\text{Bi}$			95m	EC	≈ 5.5				5	
$^{203}_{83}\text{Bi}$			11.8h	β^+, EC α	≈ 4.4 4.3	$\beta^+, 0.74$ 1.35 $\alpha, 8.85$	33+ 67		9/2	+4.59
$^{204}_{83}\text{Bi}$			11.2h	EC	≈ 4.4				6	+4.25
$^{205}_{83}\text{Bi}$			15.3d	β^+, EC	2.70	0.98	0.06%		9/2	+5.5
$^{206}_{83}\text{Bi}$			6.24d	β^+, EC	3.65	0.98	$8 \times 10^{-1}\%$		6	+4.56

续表 1-4

同位素	天然丰度 %	原子量	半衰期	衰变类型	衰变能量 MeV	粒子能量 MeV	粒子强度	热中子俘获截面	I	μ
$^{207}_{83}\text{Bi}$			30y	EC	2.40					
$^{208}_{83}\text{Bi}$			$3.7 \times 10^6\text{y}$	EC	2.87					
$^{209}_{83}\text{Bi}$	100	208.9804						$19 \pm 2\text{mb}$	9/2	+4.080
$^{210\text{m}}_{83}\text{Bi}$			$3 \times 10^6\text{y}$	α		4.43 4.57 4.92 4.96	0.4% 6% 36% 58%			
$^{210}_{83}\text{Bi}$			5.01d	β^- α	1.16 5.044	$\beta^-1.160$ 4.654 4.691	99+% $1.3 \times 10^{-1}\%$	$54 \pm 5\text{mb}$	1	± 0.0442
$^{211}_{83}\text{Bi}$		210.9873	2.15m	α β^-	6.750 0.60	$\alpha 5.946$ 6.278 6.622 $\beta^-0.060$	0.0037% 15.9% 84.1% 0.28%			
$^{212}_{83}\text{Bi}$			60.6m	β^- α	2.25 6.206	$\beta^-0.08$ 0.45 0.67 0.93 1.55 2.27 $\alpha 5.178$ 5.291 5.334 5.473 5.547 5.617 6.051 6.090	0.7% 0.1% 2.2% 1.4% 5% 54% $5 \times 10^{-5}+$ $\alpha\gamma=36\%$ 1.3×10^{-1} 1×10^{-3} 0.014 1.1 1.7 69.9 27.2			

续表 1-4

同位素	天然丰度 %	原子量	半衰期	衰变类型	衰变能量 MeV	粒子能量 MeV	粒子强度	热中子俘获截面	I	μ		
$^{213}_{83}\text{Bi}$			47m	β^-	1.42	β^-						
						0.96	97.8%					
									1.39	97.8%		
			47m	α	5.98	α						
						5.55	2.2%					
						5.87	2.2%					
$^{211}_{83}\text{Bi}$			19.7m	β^-	3.28	β^-		2%				
						0.82						
				α	5.616	1.06	8%					
						1.14	5%					
						1.41	8%					
						1.50	19%					
						1.51	19%					
						1.88	10%					
						1.98	2%					
						2.65	5%					
						3.26	19%					
						α						
						4.941	0.25+					
						5.023	0.21					
						5.184	0.6					
5.268	5.8											
5.448	53.9											
5.512	39.2											
$^{215}_{83}\text{Bi}$			7m	β^-	2.2							

本数据摘自 Robert C. Weast: 《Handbook of Chemistry and Physics》B-255~339, 第 62 版, 1982

2. 原子和离子半径

表 2-1 中各栏内容简介如下:

①金属原子半径

金属原子半径是金属原子晶体中两个邻近金属原子间的距离的一半。

②结晶离子半径

结晶离子半径是正负离子晶体中心间的距离,即正负离子的半径之和。表中所列的结晶离子是配位数为 6 的数值。

③共价半径

共价键的键长是构成该共价键的两个原子的核中心间距离。

④范德华半径

在稀有气体的单原子的分子型晶体中,原子间距离的一半是范德华半径。

表 2-1 原子和离子半径

元素符号 和名称	结 晶 离 子 半 径		共价半径 10^{-10}m	金属原子半径 10^{-10}m	范德华半径 10^{-10}m
	电 荷	半径 (10^{-10}m)			
As 砷	-3	2.22	1.21 (单键)	1.248	2.0
	+3	0.58	1.11 (双键)		
	+5	0.47			
Sb 锑	-3	2.45	1.41 (单键)		2.2
	+1	0.89	1.31 (双键)		
	+3	0.9			
	+5	0.62			
Bi 铋	-3	2.13	1.52	1.547	
	+3	0.96			
	+5	0.74			

本表数据是根据 John A. Dean, 《Lange's Handbook of Chemistry》, 第 11 版 (1973) 中的有关内容整理的。