

汽轮机·锅炉·发电机

金属材料手册

上海人民出版社

汽轮机、锅炉、发电机电 金属材料手册

《汽轮机、锅炉、发电机电金属材料手册》编写组

上海人民出版社

内 容 提 要

本书根据国内生产和科研的实践经验,比较系统地介绍了汽轮机、锅炉、发电机用优质碳素钢、合金结构钢、热强钢与有色金属的性能及使用范围。阐述了钢的基本知识,按钢号汇编了它们的技术条件、加工工艺和各种性能。对于在无产阶级文化大革命中研制出来的符合我国资源的新钢种,作了较详细的叙述。此外,就汽轮机、锅炉、发电机按不同零部件对用钢的要求,亦分别作了介绍。

本书可供汽轮机、锅炉、发电机方面的设计、工艺制造和科研人员参考,对电厂维护、检修以及冶金工厂亦有参考价值。

汽轮机、锅炉、发电机金属材料手册

《汽轮机、锅炉、发电机金属材料手册》编写组

上海人民出版社出版

(上海绍兴路5号)

新华书店上海发行所发行 上海新华印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 16 字数 391,000

1973年1月第1版 1973年1月第1次印刷

印数 1—38,000

统一书号: 15171·85 定价: 1.37 元

只限国内发行

毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

我国人民应该有一个远大的规划，要在几十年内，努力改变我国在经济上和科学文化上的落后状况，迅速达到世界上的先进水平。

独立自主、自力更生、艰苦奋斗、勤俭建国

打破洋框框，走自己工业发展道路。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

前 言

我国工农业生产的蓬勃发展对电力工业提出了更高的要求。在毛主席无产阶级革命路线指引下，发电设备制造行业的广大革命职工坚持发扬“独立自主、自力更生”的革命精神，于一九六九年就制造成功赶超世界先进水平的第一台双水内冷中间再热十二万五千瓩汽轮发电机组，并胜利投入运行。电力工业的迅速发展，对金属材料也提出了新的要求。在汽轮机、锅炉、发电机用金属材料的研究和生产上，过去一直存在着尖锐的两条路线的斗争。刘少奇一类骗子竭力推行“爬行主义”、“洋奴哲学”等一整套反革命修正主义黑货，反对毛主席无产阶级革命路线。他们竭力夸张产品的特殊性，提出以“复核国外成熟钢种为主”的研究路线，跟在洋人后面爬行，大量照抄国外牌号，其中有许多是不符合我国资源的，严重干扰了毛主席关于“打破洋框框，走自己工业发展道路”指示的贯彻执行。

冶金和动力机械制造战线的广大工人、革命干部和革命科技人员，根据“鞍钢宪法”的精神，批判了刘少奇一类骗子的反革命修正主义路线，结合我国资源建立和发展了我国自己的汽轮机、锅炉和发电机用金属材料体系。我们发展和建立了我国独特的普通低合金钢体系，打破了以往沿用的国外镍铬钢系统。我们研制了一系列新的锅炉用珠光体热强钢管、大截面高强度结构钢、无镍奥氏体热强钢等。这些成就，促进了我国电力工业的发展。

毛主席教导我们：“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创

造,有所前进。停止的论点,悲观的论点,无所作为和骄傲自满的论点,都是错误的。”虽然我们已经取得了一定的成就,但是离国家对我们的要求还有一定差距,摆在我们面前的任务还是很艰巨的。我们要加强发电机用钢的研究,不断发展和完善汽轮机、锅炉用热强钢系统,要继续大力节约镍铬,更合理地选用材料,使产品设计做到重量轻、体积小、结构简单、使用方便、效率高、质量好、具有中国风格。

为了适应我国动力工业新的跃进高潮,进一步推广热强钢、合金结构钢的研究成果,同时考虑到设计、工艺制造部门、冶金工厂以及电厂维修等生产技术管理部门的需要,我们编写了这本《汽轮机、锅炉、发电机金属材料手册》。

本书按钢号分类进行介绍,对零部件用钢的要求亦有所叙述。为便于查阅,书中以表格形式为主,介绍内容力求简明扼要。技术要求大多根据国家标准、部颁标准或有关工厂标准。并编入生产实践的一些经验数据。有关国外汽轮机、锅炉常用钢种的化学成分及性能、焊条牌号对照、国内外钢号对照等均列入附录,以备查考。

本书由原一机部汽轮机锅炉研究所、上海锅炉厂、上海汽轮机厂组织编写,上海电机厂、北京重型电机厂、哈尔滨大电机研究所参加了发电机用钢的编写工作。在编写过程中,我们得到了冶金部、水电部和一机部等有关工厂和研究单位的大力协助和热忱支持,提供了宝贵的意见和许多资料。

由于我们政治水平和业务水平不高,本书一定会有许多错误,恳切希望得到批评指正。

《汽轮机、锅炉、发电机金属材料手册》编写组

一九七二年八月

符号名称表

符 号	名 称	单 位
α	(1) α 相	毫米/毫米·°C
	(2) 线膨胀系数	
β	β 相	
γ	(1) γ 相(奥氏体)	
	(2) 比重	
γ'	γ' 相	
δ	δ 相	
δ_5	标距长度为 5 倍直径的延伸率	%
δ_{10}	标距长度为 10 倍直径的延伸率	%
λ	导热系数	卡/厘米·秒·°C
μ	(1) 磁导率	高斯/奥斯特
	(2) 泊桑比	
ρ	导电率	欧姆·毫米 ² /米
σ	应力	公斤/毫米 ²
σ_0	初应力	公斤/毫米 ²
σ_b	抗拉强度	公斤/毫米 ²
σ_s	屈服极限	公斤/毫米 ²
$\sigma_{0.2}$	引起 0.2% 残余变形的条件屈服极限	公斤/毫米 ²
σ_{bb}	抗弯强度	公斤/毫米 ²
σ_e	弹性极限	公斤/毫米 ²
σ_p	比例极限	公斤/毫米 ²
σ_{bc}	抗压强度	公斤/毫米 ²
$\sigma_{10^6}, \sigma_{10^4}, \sigma_{10^3}, \sigma_{100}$	依次为 100000, 10000, 1000, 100 小时的持久强度	公斤/毫米 ²

(续表)

符 号	名 称	单 位
$\sigma_{1 \cdot 10^{-5}}, \sigma_{1 \cdot 10^{-4}},$ $\sigma_{1 \cdot 10^{-3}}, \sigma_{0.2 \cdot 10^{-4}}$	条件蠕变极限, $\sigma_{1 \cdot 10^{-5}}$ 指蠕变第二阶段引起 $1 \cdot 10^{-5}\%$ /小时变形速度的应力, $\sigma_{0.2 \cdot 10^{-4}}$ 指蠕变第二阶段引起 $0.2 \cdot 10^{-4}\%$ /小时变形速度的应力, 余类似。	公斤/毫米 ²
$\sigma_{1/100000}, \sigma_{1/10000},$ $\sigma_{1/1000}, \sigma_{0.2/100000}$	条件蠕变极限, $\sigma_{1/100000}$ 指在 100000 小时内引起总变形量为 1% 的应力, $\sigma_{0.2/100000}$ 指 100000 小时内引起总变形量为 0.2% 的应力, 余类似。	公斤/毫米 ²
σ_{-1}	光滑试样对称循环弯曲疲劳强度	公斤/毫米 ²
σ_{-1k}	缺口试样对称循环弯曲疲劳强度	公斤/毫米 ²
τ	剪切应力	公斤/毫米 ²
τ_{-1}	光滑试样对称循环扭转疲劳强度	公斤/毫米 ²
τ_{-1k}	缺口试样对称循环扭转疲劳强度	公斤/毫米 ²
ϕ	直径	毫米
ψ	断面收缩率	%
K_p	缺口敏感系数	
A	奥氏体	
A_{c1}	加热下临界温度	°C
A_{c3}	亚共析钢加热上临界温度	°C
A_{cm}	过共析钢加热上临界温度	°C
A_{r1}	冷却下临界温度	°C
A_{r3}	亚共析钢冷却上临界温度	°C
a_k	冲击值	公斤·米/厘米 ²
B	贝氏体	
B_r	剩磁	高斯
C	碳化物	
C_p	定压比热	卡/克·°C
d_B	布氏硬度压痕直径	毫米
E	弹性模量	公斤/毫米 ²

(续表)

符 号	名 称	单 位
F	铁素体	
f	摩擦系数	
G	切变弹性模量	公斤/毫米 ²
HB	布氏硬度	公斤/毫米 ²
HS	肖氏硬度	
HV	维氏硬度	公斤/毫米 ²
H_o	矫顽力	奥斯特
M	马氏体	
M_s	马氏体转变开始温度	°C
M_f	马氏体转变终止温度	°C
N	循环次数	
P	珠光体	
R	半径	
$\frac{1}{3}R$ (或 $\frac{1}{2}R$)	离表面 $\frac{1}{3}R$ (或 $\frac{1}{2}R$)处	
R_A	洛氏硬度(A 标度)	
R_B	洛氏硬度(B 标度)	
R_C	洛氏硬度(C 标度)	
S	板或空心零件壁厚	毫米
$\frac{1}{2}S$	空心零件 $\frac{1}{2}$ 壁厚处	

目 录

符号名称表

第一章 钢的基本知识..... 1

1. 体心立方晶格和面心立方晶格	1
2. α 固溶体、 γ 固溶体和固溶强化	2
3. 临界点 A_{c3} 、 A_{c1} 、 A_{r3} 和 A_{r1}	2
4. 铁的同素异构转变	3
5. 珠光体	4
6. 等温转变曲线	6
7. 连续冷却曲线	7
8. 马氏体	7
9. 贝氏体	9
10. 淬透性	9
11. 晶粒度	10
12. 退火	12
13. 正火	13
14. 淬火	14
15. 回火	15
16. 固溶处理	16
17. 时效处理	16
18. 稳定化处理	16
19. 形变热处理	17
20. 渗碳	18
21. 氮化	18
22. 防白点退火	19

23. 酸性平炉钢和碱性平炉钢	22
24. 镇静钢、半镇静钢和沸腾钢	22
25. 马氏体钢、珠光体钢、奥氏体钢和铁素体钢	23
26. 抗拉强度	24
27. 屈服极限	25
28. 弹性极限	26
29. 比例极限	26
30. 延伸率	27
31. 断面收缩率	28
32. 冲击值	28
33. 脆性临界转变温度	30
34. 抗弯强度	31
35. 疲劳极限	32
36. 蠕变曲线	34
37. 条件蠕变极限	36
38. 持久强度	37
39. 抗松弛性	38
40. 减振性	39
41. 组织稳定性	40
42. 应变时效敏感性	40
43. 缺口敏感性	41
44. 抗氧化性	42

第二章 碳素钢.....45

概述	45
----------	----

A3	46
15	47
20	50
25	53
35	55
45	57
60	61
65 (见第五章)	65
85 (见第五章)	65
50Mn	65
50 锰	
65Mn (见第五章)	67
65 锰	
20g 22g	67
20 锅 22 锅	
第三章 普通低合金钢	69
概述	69
12Mn	70
12 锰	
16Mn	73
16 锰	
15MnV	81
15 锰钒	
15MnTi	88
15 锰钛	
14MnMoV 12MnMoV	94
14 锰钼钒 12 锰钼钒	
14MnMoVBRe	99
14 锰钼钒硼稀土	
18MnMoNb	105
18 锰钼铌	
14CrMnMoVB	111
14 铬锰钼钒硼	
12MoAlV	117
12 钼铝钒	
第四章 低合金结构钢和热强钢	120
概述	120

12CrMo	121
12 铬钼	
15CrMo	124
15 铬钼	
12Cr1MoV	127
12 铬 1 钼钒	
12MoVWBSiRe (无铬 8 号) 12 钼钒钨硼硅稀土	133
12Cr2MoWVB (钢 102)	138
12 铬 2 钼钨钒硼	
12Cr3MoVSiTiB (Π 11)	142
12 铬 3 钼钒硅钛硼	
30Mn2	146
30 锰 2	
35SiMn	148
35 硅锰	
25Mn2V	152
25 锰 2 钒	
30Mn2MoB	154
30 锰 2 钼硼	
20CrMo	156
20 铬钼	
35CrMo 34CrMo 34CrMo1A 35 铬钼 34 铬钼 34 铬钼 1 高	159
20CrMnMo	165
20 铬锰钼	
18CrMnMoB	168
18 铬锰钼硼	
17CrMo1V	170
17 铬钼 1 钒	
24CrMoV	174
24 铬钼钒	
35CrMoV	177
35 铬钼钒	
25Cr2MoV	179
25 铬 2 钼钒	
25Cr2Mo1V	185
25 铬 2 钼 1 钒	
27Cr2Mo1V	192
27 铬 2 钼 1 钒	

30Cr2MoV	195
30 铬 2 钼钒	
40Cr2MoV	197
40 铬 2 钼钒	
20Cr1Mo1VTiB	199
20 铬 1 钼 1 钒钛硼	
20Cr1Mo1VNbB	202
20 铬 1 钼 1 钒铌硼	
38CrMoAl	206
38 铬钼铝	
20Cr3MoWV	208
20 铬 3 钼钨钒	
33Cr3MoWV	212
33 铬 3 钼钨钒	
34CrNi1Mo 34CrNi2Mo	
34 铬镍 1 钼 34 铬镍 2 钼	
34CrNi3Mo	217
34 铬镍 3 钼	
第五章 弹簧钢	220
概述	220
65	220
85	223
65Mn	224
65 锰	
60Si2Mn	226
60 硅 2 锰	
60Si2CrA	229
60 硅 2 铬高	
50CrVA	230
50 铬钒高	
45Cr1MoV	234
45 铬 1 钼钒	
30W4Cr2VA	236
30 钨 4 铬 2 钒高	
3Cr13 4Cr13	238
3 铬 13 4 铬 13 (见第七章)	
2Cr17Mn13Mo2N	
2 铬 17 锰 13 钼 2 氮	
2Cr19Ni9Mo2	238
2 铬 19 镍 9 钼 2	

Cr15Ni36W3Ti (见第八章)	
铬 15 镍 36 钨 3 钛	239
[附] 碳素弹簧钢丝	239

第六章 铸铁、铸钢.....244

灰口铸铁	244
球墨铸铁	248
耐热铸铁	251
WTMn-9.5	252
无磁性铸铁锰-9.5	
ZG25 ZG35	256
铸钢 25 铸钢 35	
ZG22Mn	259
铸钢 22 锰	
ZG20CrMo	260
铸钢 20 铬钼	
ZG20CrMoV	262
铸钢 20 铬钼钒	
ZG15Cr1Mo1V	265
铸钢 15 铬 1 钼 1 钒	
ZG25Mn18Cr4	
铸钢 25 锰 18 铬 4	
ZG40Mn18Cr3	269
铸钢 40 锰 18 铬 3	
ZGCr14Ni14Mo2WNb	270
铸钢 铬 14 镍 14 钼 2 钨铌	
Co60Cr30W5	273
钴 60 铬 30 钨 5	

第七章 马氏体和铁素体耐

热钢、不锈钢.....275

概述	275
Cr5Mo	275
铬 5 钼	
Cr6SiMo	279
铬 6 硅钼	
4Cr9Si2	282
4 铬 9 硅 2	

1Cr13 2Cr13	284
1 铬 13 2 铬 13	
3Cr13 4Cr13	292
3 铬 13 4 铬 13	
Cr11MoV	297
铬 11 钼 钒	
Cr12WMoV	301
铬 12 钨 钼 钒	
Cr12WMoNbVB	305
铬 12 钨 钼 钒 铌 钒	
Cr21Ti	308
铬 21 钛	
Cr25Ti	310
铬 25 钛	

第八章 奥氏体钢及合金

.....313

概述313

1Cr18Ni9 1Cr18Ni9Ti ...314
1 铬 18 镍 9 1 铬 18 镍 9 钛

Cr17Ni13W317
铬 17 镍 13 钨

Cr14Ni18W2NbBCe320
铬 14 镍 18 钨 2 铌 硼 铈

Cr15Ni36W3Ti322
铬 15 镍 36 钨 3 钛

Cr15Ni35W3Ti3AlB326
铬 15 镍 35 钨 3 钛 3 铝 硼

Cr14Ni40W4Mo2Ti3Al2BZr
铬 14 镍 40 钨 4 钼 2 钛 3 铝 2 硼 锆
.....330

Cr18Mn11Si2N
铬 18 锰 11 硅 2 氮 (D1).....334

Cr20Mn9Ni2Si2N
铬 20 锰 9 镍 2 硅 2 氮 (钢 101)
.....337

Mn18Cr10MoVB
锰 18 铬 10 钼 钒 硼 (K9).....339

Mn17Cr7MoVNbBZr342
锰 17 铬 7 钼 钒 铌 硼 锆

40Mn18Cr3 40Mn18Cr4	
40 锰 18 铬 3 40 锰 18 铬 4	
40Mn18Cr4V 50Mn18Cr4	
40 锰 18 铬 4 钒 50 锰 18 铬 4	
50Mn18Cr4WN	345
50 锰 18 铬 4 钨 氮	

第九章 有色金属349

铜及铜合金349

(一)铜及铜合金压力加工
制品350

(二)铸造铜合金356

铝及铝合金360

(一)铝及铝合金压力加工
制品361

(二)铸造铝合金365

锡基轴承合金 ChSnSb11-6
.....367

第十章 汽轮机、锅炉、发

电机按零部件对

用钢的要求369

1. 锅炉钢管369

2. 锅炉钢板374

3. 汽轮机、燃气轮机叶
片378

4. 汽轮机、燃气轮机紧固
件391

5. 汽轮机叶轮、主轴和转
子锻件395

6. 锅炉、汽轮机铸件402

7. 汽轮发电机转子锻件402

8. 汽轮发电机无磁性护
环锻件408

9. 汽轮发电机用环(除护
环外)锻件409

10. 电工用硅钢片	411
附录	418
一、国外锅炉、汽轮机、 燃气轮机用某些钢与 合金的化学成分及性 能	418
二、国内外焊条对照表 ...	450
三、国内外钢号对照表 ...	456
四、国内外电工用硅钢片 牌号对照表	468
五、结构钢按坯料截面与 屈服极限钢种选用 表	470
六、大锻件的切向、径向	

机械性能较纵向性能 降低百分数表	474
七、应力换算表(磅/时 ² - 公斤/毫米 ²)	475
八、冲击功换算表(磅· 呎-公斤·米)	476
九、温度换算表	477
十、硬度换算表	481
十一、铂铑-铂热电偶分度 表	487
十二、镍铬-镍硅(铝)热电 偶分度表	491
十三、主要元素符号对照 表	494

第一章 钢的基本知识

本章是对手册中涉及到的一些专业名词和术语，作比较系统的解释。内容大体上可分为两部分：一、钢的金相热处理；二、钢的性能。通过这些解释，介绍钢的金相、热处理和强度方面的基本知识。

1. 体心立方晶格和面心立方晶格 铁的原子排列有两种方式。如图 1-1(a)所示，当立方体八个顶角和中心各有一个原子时，叫体心立方晶格，按照这种方式排列的有 α 铁、 β 铁和 δ 铁，这三种铁具有不同的晶格常数（单位立方体的边长）。如图 1-1(b)所示，当立方体八个顶角和它的六个表面中心各有一个原子时，叫面

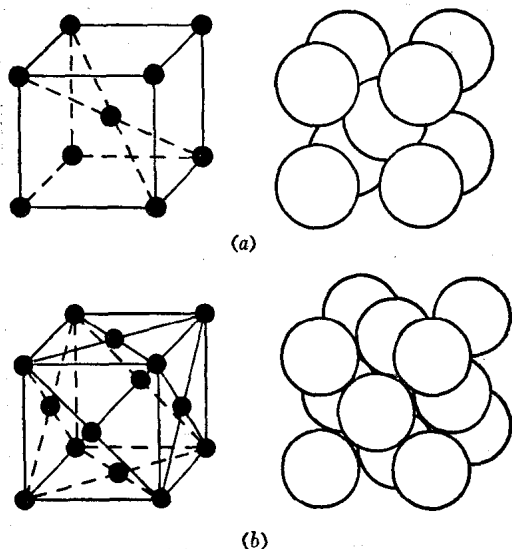


图 1-1

(a) 体心立方晶格； (b) 面心立方晶格

心立方晶格,按这种方式排列的有 γ 铁。

2. α 固溶体、 γ 固溶体和固溶强化 两种或两种以上化学组元的单一均匀固体晶相称为固溶体。碳或合金元素溶解于 α 铁中形成的固溶体叫 α 固溶体,或叫铁素体。碳或合金元素溶解于 γ 铁中形成的固溶体叫 γ 固溶体,或叫奥氏体。合金元素溶解于 α 铁或 γ 铁中一般都能使它们的强度提高,有的元素还不降低它们的韧性和塑性,这叫固溶强化。

3. 临界点 A_{c3} 、 A_{c1} 、 A_{r3} 和 A_{r1} α 铁加热到 910°C 以上就变为 γ 铁,如再冷却到 910°C 以下又变为 α 铁,此转变温度称为 A_3 转变温度。

钢是含碳量低于2.0%的铁碳合金。当含碳量小于0.8%时,钢的 A_3 转变温度随着碳量增加而降低(如图1-2所示)。含碳量为0.8%时的转变温度叫 A_1 转变温度。含碳量大于0.8%时的转变温度叫 A_{cm} 转变温度,它随着碳量增加而升高。

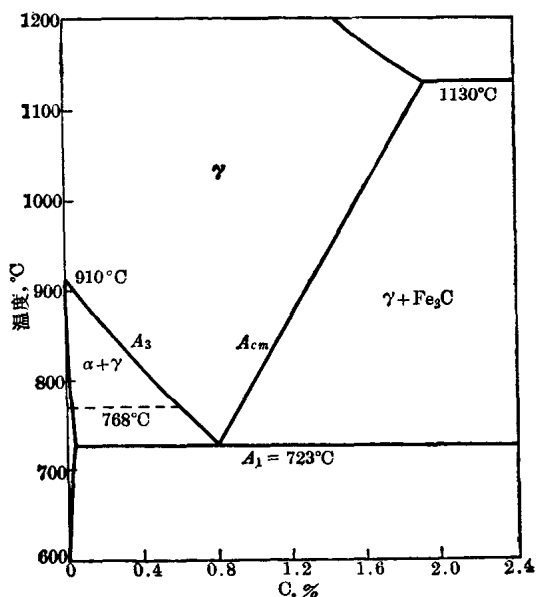


图 1-2 碳钢临界点与含碳量的关系

和纯铁的转变情况不同，钢加热至 A_1 温度时开始出现 γ 固溶体(奥氏体)，加热至 A_3 或 A_{cm} 以上才全部变为奥氏体。从 A_3 以上冷却至 A_3 温度时，钢中开始出现铁素体；从 A_{cm} 以上冷却至 A_{cm} 温度时，则开始出现渗碳体。继续冷却，直至 A_1 温度以下，含碳 0.8% 以下的钢变为铁素体+珠光体，含碳 0.8% 以上的钢变为渗碳体+珠光体。图 1-2 中所示的 A_1 、 A_3 和 A_{cm} 转变温度是指加热和冷却速度非常缓慢的情况下即所谓平衡状态下的转变温度。但是，在通常的加热或冷却速度下这种转变有滞后现象，加热时的转变温度高于平衡状态下的转变温度，冷却时的转变温度低于平衡状态下的转变温度，因此，便用 A_{c1} 和 A_{c3} 代表加热时的转变温度， A_{r1} 、 A_{r3} 代表冷却时的转变温度，这些转变温度简称“临界点”，有时还把 A_{c3} 叫上临界点。往钢中加入合金元素，能提高或降低钢的临界点。 A_{c1} 和 A_{c3} 的经验计算公式为：

$$\begin{aligned} A_{c3} &= 854 - 180 \times \%C - 14 \times \%Mn + 44 \times \%Si \\ &\quad - 17.8 \times \%Ni - 1.7 \times \%Cr \quad (^\circ C) \\ A_{c1} &= 723 - 14 \times \%Mn + 22 \times \%Si - 14.4 \times \%Ni \\ &\quad + 23.3 \times \%Cr \quad (^\circ C) \end{aligned}$$

上列公式不适用于快速加热，因为加热时的临界点随着加热速度的增加而升高，而冷却时的临界点随着冷却速度的增加而降低。

4. 铁的同素异构转变 体心立方晶格和面心立方晶格的相互转变机构可表述如下：如图 1-3(a) 所示，在四个体心立方体的组合体中，如把黑点的那些原子联接起来，便是一个面心的四方体。因此，由大量体心立方晶胞堆砌起来的大块金属，也可以看作是由大量面心四方体晶胞堆砌起来的。由于晶格本身有这种双重性以及它在各种状态下自由能的变化，当外界转变条件(如温度等)具备时，只要在面心四方体的高度方向膨胀一些，其它方向收缩一些，就变为面心立方体了。图 1-3(b)是两个面心立方体晶胞，