



G·鲁企卡 等著
W·克腊亚夫斯基



有色金属 冶炼用耐火材料

冶金工业出版社

81.559
779
C.2

有色金属冶炼用耐火材料

G. 鲁 企 卡 等著
W. 克腊亚夫斯基

钱承欣 石英宜 译

315461

冶金工业出版社

译者前言

有色金属冶炼工业是使用耐火材料的重要部门之一，但总的说来，有色金属用耐火材料所占的比例比钢铁要小得多（在工业发达国家，有色金属占3.4%，钢铁占59%），因而对有色金属冶炼用耐火材料缺乏像钢铁冶炼用耐火材料那样深入、系统的研究。随着世界上有色金属冶炼的发展，对耐火材料提出了许多新的要求，耐火材料使用条件愈来愈严酷，已成为生产中的一个重要环节。有色金属冶炼用耐火材料的技术发展引起了人们的普遍关注。

1980年9月在西德亚琛（Aachen）召开的，题为“有色金属冶炼用耐火材料”的第23届国际耐火材料会议，就反映出世界各国对有色金属用耐火材料的重视。参加这届会议的，有美国、西德、日本、英国、法国等22个国家共380名代表。我国派冶金部洛阳耐火材料研究所所长钟香崇参加，并在会上宣读了题为“炼铜炉熔铸镁铬砖显微结构的研究”的论文。

本书根据《国际陶瓷》杂志（西德）1981年特刊（Inter. Ceram.; SPECIAL ISSUE VOL.30, 1981）——第23届国际耐火材料会议（有色金属冶炼用耐火材料）《会议论文集》

（Proceedings XXIIIrd International Colloquium on Refractories, Refractories for the metallurgy of non-ferrous metals）英文版译出，其中包括18篇论文。这些文章主要介绍了冶炼铜、铝、铅、锌、锡等重要有色金属时，各种耐火材料（包括不定形耐火材料和耐火纤维）的使用条件，使用效果，损坏机理和今后发展；同时还叙述了有色金属冶炼中滑动水口的使用、铝液电磁泵用耐火材料的研制、新泽西炼锌法用碳化硅砖，以及ASARCO型连熔连铸竖炉用耐火材料等等，反映了当前世界有色金属冶炼用耐火材料的发展水平。

西德波恩耐火材料研究所 (Forschungsinstitut der Feuerfest-Industrie, Bonn) G.鲁企卡 (Routschka) 的综述性文章“有色金属用耐火材料”是为这届会议准备的背景材料,它是参阅大量有关文献(包括期刊、专刊、特种文献和会议论文集等共计409篇,并按类别附于该文之后)写成的,颇有参考价值。该文载于(奥地利)《拉德克斯评论》杂志(Radex-Rundschau)1980年第四期,现亦译出,列为本书的第一篇。因此,本书共有十九篇论文。

本书第四、五、六、九、十五、十七和十九篇由石英宜翻译,其余各篇的翻译和全书的汇总、整理由钱承欣承担,并请洛阳有色金属加工厂总工程师关廉昭审阅。翻译过程中,曾参考了供会议使用的德、英、法三种文字的《会议论文集》(Vorträge des XXIII Internationalen Kolloquiums, Feuerfeste Baustoffe in der Metallurgie der Nichteisenmetalle)速印本,并对原文中的一些印刷错误作了订正。

英文原版特刊和《会议论文集》由洛阳耐火材料研究所所长钟香崇提供,特此致谢。

由于译者外文和专业水平有限,译文中错误和不当之处,敬请读者批评指正。

译者

1982年9月

目 录

一、有色金属工业用耐火材料 (文献综述)	1
二、有色金属的熔炼和精炼	81
三、炼铜炉用熔铸镁铬砖显微结构的研究	105
四、铜熔炼炉中铬镁砖的蚀损	116
五、布利登 (Boliden) 炼铜卡尔多转炉中使用过的碱性 性砖的侵蚀研究	132
六、炼铜工业碱性砖的工艺发展	157
七、炼铜炉用耐火材料的研究	170
八、铜水浸渍过的碱性砖的导热系数研究	181
九、有色金属生产工艺对耐火材料化学性能的要求	193
十、非碱性砖在锡熔炼炉的侧壁和炉顶中的使用	214
十一、新泽西炼锌炉用碳化硅耐火材料	230
十二、有色金属熔炼和保温电炉炉衬用的耐火干 捣打料	238
十三、滑动水口耐火材料滑板在有色金属熔炼中 的使用	247
十四、铝合金熔化炉用的耐火材料	261
十五、铝在不定形耐火材料中的渗透	287
十六、铝工业炉使用不定形和隔热耐火材料的经验	296
十七、铝电解槽耐火粘土槽衬抗冰晶石的侵蚀性	307
十八、液态铝电磁泵用耐火材料——制造、试验 和检验	314
十九、炼铜转炉中镁铬砖、渣、冰铜和铜之间的反 应	332

一、有色金属工业用耐火材料

(文献综述)

[西德] G.鲁企卡 (ROUTSCHKA)等

(一) 引言

过去十年中, 有色金属的世界产量有明显增长 (表1-1)。人们正在不断努力, 使有色金属的初熔、重熔和浇铸再加工工艺能符合成品质量和环境保护的要求, 并且适应原材料、劳动力和能源价格不断上涨的趋势^[1,2]。

表 1-1 工业用的重要有色金属和合金产量与粗钢产量的对比

单位: 万吨

金属或合金	世界产量		西 欧		西 德	
	1970	1978	1970	1978	1970	1978
粗 钢	59840.0	71800.0	16188.4	16387.5	4504.1	4125.3
原生铝	1026.0	1464.0	201.5	352.6	30.9	74.0
重熔铝					25.9	41.3
粗 铜	630.7	775.4	33.8	50.0	8.4	16.6 ^①
精炼铜	758.3	923.0	130.4	143.0	40.6	40.3
其中火法					9.9	8.5
铜合金					4.3	4.4
粗 铅	398.8	432.0	123.6	126.2	30.5	30.5
铅合金					1.24	0.6
粗 锌	521.8	603.0	137.2	164.6	30.1	30.7
锌合金					9.3	9.7
粗 锡	22.1	23.3	4.2	2.7	0.22	0.48
锡合金					0.75	0.4
镍	60.3	61.7	9.9	7.7	0.06	0.1

① 包括由矿石中浸出的产量。

和以往一样，目前用燃料加热炉进行熔炼（即火法冶金）仍占主要地位，而且吹氧或富氧空气更加普遍^[3, 3a]。为了把矿石中所含的不同金属分离出来，往往需要经过复杂的生产步骤。闪速熔炼法和生产过程连续化工艺就是原生金属生产的新发展。重熔和浇铸主要用电炉。所用炉子的类型和尺寸是多种多样的^[4~10]。通过以隔热耐火材料为内衬的容器，将液态金属（首先是铝）由熔炼车间送往浇铸车间（有时运输距离较长）已日益普遍。在有色金属浇铸中，铝和铝合金占绝对优势（表1-2）。

表 1-2 1978年西德各种有色金属及其合金铸件所占的百分率

有色金属及其合金	铝	镁	铜	铅	锌	锡	镍
百分率，%	65.5	3.8	17.8	1.6	11.5	0.1	0.03

注：有色金属铸件总计约45万吨，而钢铁可锻铸件为400万吨左右。

表 1-3 有色金属及其氧化物的比重、熔

元 素	比重，克/厘米 ³		熔 点 ℃	沸 点 ℃
	20℃时	熔化温度时		
钙	1.55	1.36	865	1487
镁	1.74	1.59	651	1102
铝	2.71	2.39	660	2450
锆	6.5	5.8	1852	>2700
钛	4.6	4.1	1685	>2700
硅	2.33	2.51	1410	2630
锰	7.4	5.73	1241	2152
铬	7.16	6.28	1875	2645
锌	6.92	6.57	420	911
锡	7.3	7.00	232	1635
铁	7.87	7.01	1537	2875
镍	8.9	7.90	1453	3177
铅	11.34	10.6	327	1750
铜	8.94	8.0	1084	2595
碳	2.2			

① 生产耐火制品所用的氧化物，或者是耐火制品的主要成分。

有色金属用工业炉的反应室和熔炼室，使用各种类型的耐火材料作内衬，可参阅有关的综合文献资料^[11~23]。提炼原生金属的大型炉子一般均用耐火砖，小型的重熔炉、保温炉和浇铸炉则主要用不定型耐火材料（捣打料、耐火混凝土和预制件）。一如既往，石墨—粘土—碳化硅坩埚和碳化硅坩埚的性能优异。流槽和泵之类的浇铸设备，则使用特殊制品，诸如耐火纤维、纯氧化物、氮化物或金属陶瓷制品等等^[24, 25]。

有色金属工业使用的耐火材料，约占耐火材料总产量的3~6%。

（二）在有色金属工业中使用耐火制品的基本前提条件及所受的侵蚀和应力

现将与耐火材料应用有关的金属及其有关氧化物的一些重要点、沸点以及氧化物的自由生成焓

氧 化 物	比 重 克/厘米 ³	自由生成焓, ΔG_f° 千卡/摩尔O ₂			熔 点 ℃
		500℃	1000℃	1500℃	
CaO ^①	3.3	-264	-242	-218	2615
MgO ^①	3.58	-243	-225	-180	2825
Al ₂ O ₃ ^①	3.98	-228	-223	-176	2030
ZrO ₂ ^①	5.7	-227	-225	-184	2677
TiO ₂	4.25 (金红石)	-182	-161	-140	1870
SiO ₂ ^①	2.32 (方石英)	-175	-154	-132	1723
MnO	5.4	-157	-140	-121	1785
Cr ₂ O ₃ ^①	5.2	-146	-126	-105	2275
ZnO	5.6	-130	-100		1975
SnO ₂	7.0	-100	-76	-53	1630
FeO	5.7	-105	-87		1377
NiO	6.8	-84	-60	-38	1985
PbO	9.5	-69			885
Cu ₂ O	6.0	-56	-40		1236
CO		-86	-108	-128	

性能列于表1-3中。

1. 熔融金属的侵蚀

熔融金属和耐火材料之间的氧化还原反应的可能性，可以从热动力学角度〔11、14、26、41〕推断出来。自由生成焓的值($-\Delta G_T^\circ$)就表示这种反应的程度。表1-3已示出氧化物生成的相应焓的值。自由生成焓的值（负数）越大，氧化物的稳定性就越高。表内示出的氧化物中，CaO和MgO最稳定，也就是说，熔融的钙和镁能使多余的氧化物还原出来。

耐火材料的润湿性取决于两相系之间的界面应力。润湿性根据润湿角〔平滴法(Methode des Liegenden Tropfens)〕确定。对润湿性发生影响的因素很多，包括气氛、接触反应（有时与时间有密切关系）、杂质、合金元素和耐火材料的气孔结构等等〔27~35〕。例如铜熔体对 Al_2O_3 的润湿角，在熔体中的氧化亚铜含量升至5%时，会急剧变小，由 163° 下降为 25° 〔36〕。

被金属熔体浸渍的程度，取决于下列因素：熔体的表面张力和粘度、耐火材料的润湿性和气孔的孔径。表1-4已将有色金属熔体的有关数据一一列出。有色金属熔体的粘度低于铁熔体，有的与水的粘度相近。

将理论推断和在试验室进行短期反应及润湿试验的结果，慎重地用于实际生产中，因为实际生产条件（如气氛、杂质和温度梯度）对耐火材料的使用寿命会产生重大的影响。再者，根据理论推断和试验结果还可了解耐火炉衬可能出现的损毁过程和耐火材料所引起的熔融金属中的杂质（如吸入氧气）。现将有色金属用的最重要的耐火原料的性能列在表1-5中。

2. 氧化物、渣和熔融盐的侵蚀

用火法冶金处理有色金属时，会产生各种成分的炉渣。渣的来源是矿石中的脉石和选择性分离用的添加料。渣中含有硅酸铁、硅酸钙、硫和重金属、有时还有重金属氧化物。

呈稀薄液体状态的FeO-CaO-SiO₂系和MnO-SiO₂系渣有强烈的侵蚀和浸渍作用。

表 1-4 熔融有色金属^[11, 27, 30, 35]、Cu₂O熔体^[30]和熔融冰晶石
的表面张力、粘度和润湿性能

熔体或 液体 (熔点)	表面张力 牛顿/厘米 ·10 ⁻⁵	粘 度 厘 泊	真空下对致密陶瓷的润湿角, 度				
			温度, ℃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	其 它
铝 (660℃)	熔点 914 750℃ 883	熔点 1.3 700℃ 1.14 750℃ 1.04	980	152		155	SiC 34(1100℃) ZrO ₂ 70(1150℃)
镁 (651℃)	熔点 559	熔点 1.25					
铜	熔点 1285	熔点 4.0 1200℃ 3.2	1200	141	142	139	SiC 135
铜 (1084℃)	1200℃ 1270	1400℃ 2.6			(133)		MgO· Cr ₂ O ₃ 121
铅 (327℃)	熔点 468 500℃ 446	熔点 2.65 400℃ 2.4 700℃ 1.3					
锌 (420℃)	熔点 782 640℃ 745	熔点 3.85 500℃ 3.6 800℃ 1.7					
锡 (232℃)	熔点 544 400℃ 533	熔点 1.85 400℃ 1.3 700℃ 0.8	230 800	123 162	124	121	SiC 162
镍 (1453℃)	熔点 1778 1500℃ 1760	熔点 4.9 1500℃4.7	1500	110 (128)	74	114	ZrO ₂ 118
钛 (1685℃)	熔点 1650	熔点 5.9					
铁 (1537℃)	熔点 1872 1600℃ 1841	熔点 5.5 1600℃ 5.0	1550	141	123		碳不润湿

续表 1-4

熔体或 液体 (熔点)	表面张力 牛顿/厘米 ·10 ⁻⁵	粘 度 厘 泊	真空下对致密陶瓷的润湿角, 度				
			温度, ℃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	其 它
水	20℃ 73	20℃ 1					
氧 化 亚 铜			1250 (空气中)	24	20	16	莫来石 25
冰晶石	1000℃ 145	1000℃ 4.6	.				

表 1-5 有色金属熔体与耐火材料的相互作用^(11, 27)

有色金属	耐 火 材 料			
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	ZrO ₂
铝 (660℃)	660℃ (—)	660℃ (—)		
镁 (657℃)	1100℃ (0)	660℃ (—)	660℃ (—)	
铜 (1084℃)	1100℃ (—)			
铅 (327℃)	330℃ (0)	800℃ (—)		
锌 (420℃)				
锡 (232℃)	1000℃ (0)	600℃ (—)		
镍 (1453℃)	1800℃ (0)		1800℃ (0)	1800℃ (0)
钛 (1727℃)	1800℃ (—)		1800℃ (—)	1800℃ (—)

有色金属	耐 火 材 料		
	石 墨	SiC	Si ₃ N ₄
铝 (660℃)	660℃ (—)	900℃ (—)	1000℃ (0)
镁 (657℃)	660℃ (—)	800℃ (—)	750℃ (—)
铜 (1084℃)		1100℃ (—)	1150℃ (—)
铅 (327℃)		600℃ (—)	800℃ (0)
锌 (420℃)	600℃ (—)	600℃ (—)	940℃ (0)
锡 (232℃)		400℃ (—)	300℃ (0)
镍 (1453℃)			1450℃ (—)
钛 (1727℃)		1800℃ (—)	

注：(0) 无反应，(—) 轻微反应（稳定性好），(—) 明显反应（稳定性较差），(—) 强烈反应。

重熔有色金属时，如没有熔池保护层，由于氧化，金属熔池表面会出现氧化物；再者，金属液会喷溅到熔池上方的耐火炉衬上去，并在该处氧化，这样，炉衬就受侵蚀，并形成厚厚的结瘤，即炉瘤。

为了判别耐火材料对所产生的氧化物的反应性能，可参看有关的标准相平衡图^[38~40]。表1-6列出了与有色金属冶炼有关的重要相图中的三项参数：出现首次熔融物的低共熔温度(E)，首次熔融物的成分(Z_E)和所产生的化合物(V)。化合物(V)具有高耐火性能，可起保护层作用。

为减少熔融金属中的杂质，保护金属熔体，或者进行副产品和废料提炼时，使用熔融盐(如碱金属氯化物)。铝液的电解就是采用熔融冰晶石。这些熔融盐类会强烈侵蚀耐火材料，并很深渗透进去，甚至会加快含碳制品的氧化速度。

用坩埚法，最好用半工业性试验法进行氧化物、炉渣和熔融盐的渣蚀试验，由此来说明耐火材料的溶解和浸渍性能，并了解结构所产生的重要影响。

3. 气氛和蒸气的作用

炉子中往往是弱还原至强还原气氛占“统治”地位。CO的分解会在耐火制品的气孔中形成有破坏作用的碳，分解过程中，不仅是铁和氧化铁，连锌亦起催化作用。

含水蒸气的气氛如接触到碳化硅砖，便会妨碍防止表面氧化的保护层的形成，或者破坏这种保护层。

冶炼硫化物矿石时会产生二氧化硫，它会使MgO分解，形成MgSO₄。

金属蒸气会很深地往耐火炉衬中扩散，并冷凝下来，产生分裂破坏作用。

4. 热应力和机械应力

有色金属熔炼炉耐火炉衬中的温度一般在950~1400℃范围内，在喷嘴和风口附近的温度比该温度高得多。进行吹洗气体处理，或者通过流槽和管道运送熔融金属时，含尘气流、熔融金属

表 1-6 耐火氧化物、有色金属氧化物、FeO或FeO—SiO₂之间的相互关系

侵蚀性氧化物	参 数	耐 火 氧 化 物				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO (MgO · Al ₂ O ₃)	Cr ₂ O ₃ (MgO · Cr ₂ O ₃)	ZrO ₂
CuO, Cu ₂ O (自1025℃起)	E	1060℃ 约8%SiO ₂	1130℃ (1165℃) 约8%Al ₂ O ₃	1380℃ 约16%MgO	1130℃ 约5%Cr ₂ O ₃	1097℃ 约5%ZrO ₂
	Z _E V	无	CuAlO ₂ (最高1260℃) CuAl ₂ O ₄ (最高1200℃)	2CuO · MgO 5CuO · 2MgO CuMgO ₂ (铜 镁石) (在氧化气氛下, 达到1000℃左右)	Cu ₂ O · Cr ₂ O ₃ CuO · Cr ₂ O ₃ (最高1100℃)	无
		尖晶石: E 约1136; 1400℃时, Z _E < 2%MgO + Al ₂ O ₃ 或 Cr ₂ O ₃ ; 1600°时, MgO和尖晶石在熔融物中的溶解度仅1% 左右 ^[39]				
PbO	E	715℃~732℃	865℃		787°和807℃	无低共熔熔融物
	Z _E V	<30%SiO ₂ 各种硅酸铅	约5%Al ₂ O ₃ PbO · Al ₂ O ₃ (约1000℃)		约7%Cr ₂ O ₃ 各种铬酸铅 (920℃)	PbO固态溶液 PbO · ZrO ₂ (1570℃)

续表 1-6

侵蚀性氧化物	参 数	耐 火 氧 化 物				ZrO ₂
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO (MgO·Al ₂ O ₃)	Cr ₂ O ₃ (MgO·Cr ₂ O ₃)	
ZnO	E	1432℃和1507℃	1700℃	>1750℃		E = 低共熔温度, 出现首次 低共熔熔融物 Z _E = 首次低共熔熔融物的 成分 V = 产生的化合物和温度: 熔点 (分解点)
	Z _E	约42.4%SiO ₂ 或约18.9%SiO ₂	约21%Al ₂ O ₃	约15%MgO		
	V	Zn ₂ SiO ₃ 1512℃	ZnO·Al ₂ O ₃	固溶体		
NiO	E	1650℃	约1870℃ 或1980℃	无低共熔熔融物		
	Z _E	约39.6%SiO ₂ (1685℃时, 有 两种含40%左右 SiO ₂ 的熔融物)	约14%Al ₂ O ₃ 或90%Al ₂ O ₃			
	V	2NiO·SiO ₂ (1545℃) (镍—橄榄石)	NiO·Al ₂ O ₃ , 2100℃	固溶体		
SnO SnO ₂	E	865℃	1620℃			
	Z _E	约32%SiO ₂	约4%Al ₂ O ₃			
	V	无	无			
	E	1251℃和1315℃	1520℃	无低共熔熔融物		

E = 低共熔温度, 出现首次
低共熔融物

Z_E = 首次低共熔融物的
成分

V = 产生的化合物和温度:
熔点 (分解点)

续表 1-6

侵蚀性氧化物	参 数	耐 火 氧 化 物				
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO (MgO·Al ₂ O ₃)	Cr ₂ O ₃ (MgO·Cr ₂ O ₃)	ZrO ₂
MnO	Z _E	约38%SiO ₂ 或约26%SiO ₂	约24%Al ₂ O ₃	无低共熔熔融物		
	V	Mn ₂ SiO ₄ , 1345℃ MnSiO ₃ , 1291℃	MnAl ₂ O ₄ 1850℃	固溶体 (Mg, Mn) O MgO·Mn ₂ O ₃ (最高1550℃)		
	.					
FeO	E Z _E	约1190℃ 约22%SiO ₂ 或约38%SiO ₂ (从1700℃起, 为两 种含<45% SiO ₂ 的 熔融物)	1310℃ 6%Al ₂ O ₃	无低共熔熔融物	1345℃ 2.5%Cr ₂ O ₃	约1350℃ 约4%ZrO ₂
	V	Fe ₂ SiO ₄ 约1200℃	FeAl ₂ O ₄ 1820℃	固溶体 (Mg, Fe) O	FeCr ₂ O ₄ 2100℃	固溶体
FeO—SiO ₂	E Z _E V		三元的, 1083℃ 约10%Al ₂ O ₃ Fe ₂ SiO ₄ FeAl ₂ O ₄	固溶体 (Mg, Fe) O 橄榄石 (Mg, Fe) ·SiO ₂ 辉石		三元的, 约1160℃ 约5%ZrO ₂ Fe ₂ SiO ₄ 硅酸锆

和炉渣运动会产生机械冲刷和磨蚀应力。

耐火炉衬的浸渍和渣化对耐火材料的热稳定性和高温强度产生不利影响，引起裂纹和剥落。熔融金属的强烈渗透和进入砖缝，致使整个炉墙有鼓起的危险。

耐火炉衬的使用寿命取决于很多因素。由于近年来耐火材料的质量有了显著改善，炉子的结构及其操作的影响也日益明显。

(三) 耐火材料在轻金属冶炼中的使用

1. 铝和铝合金

铝的冶炼、铝及铝合金制品的一般生产过程如下：用拜耳法分解铝土矿，焙烧氢氧化铝滤饼，在冰晶石熔体中使氧化铝产生电化学还原反应，将原生铝浇注成铝锭，通过熔炼炉、保温炉和浇铸炉，将铝锭进一步加工成半成品和成品。

在1100℃左右，氧化铝在回转炉中焙烧，近年也采用更经济的沸腾焙烧炉^[42, 43]。炉衬使用高级粘土砖，高温区则用50% Al_2O_3 的高铝砖，并用轻质砖或耐火纤维毯作隔热层，效果好。

(1) 电解槽

电解槽长度可达9米，宽4米，深度约1.2米，一般全部用碳砖做槽衬（见图1-1）。每个电解系统由200个甚至更多的彼此相连的电解槽组成。

熔融状电解质的主要成分是冰晶石（ Na_3AlF_6 ），其中还添加少量的 AlF_3 、 LiF 和 CaF_2 ，以改善电气性能和降低熔点。用含4~8% Al_2O_3 的电解质，在970℃（波动约30℃）和4~6.5伏下进行电解。在新型电解槽中可达100~180千安培。

由上部浸入电解质中的碳阳极是自焙烧或预焙烧的。在电解过程中，阳极由于与分离出的氧发生反应，很快就消耗掉了。阳极是铝厂本身生产的，大多用石油焦和沥青做原料。将生阳极埋入碳块中，在多室箱式炉或环状均热炉（即所谓阳极焙烧炉）中

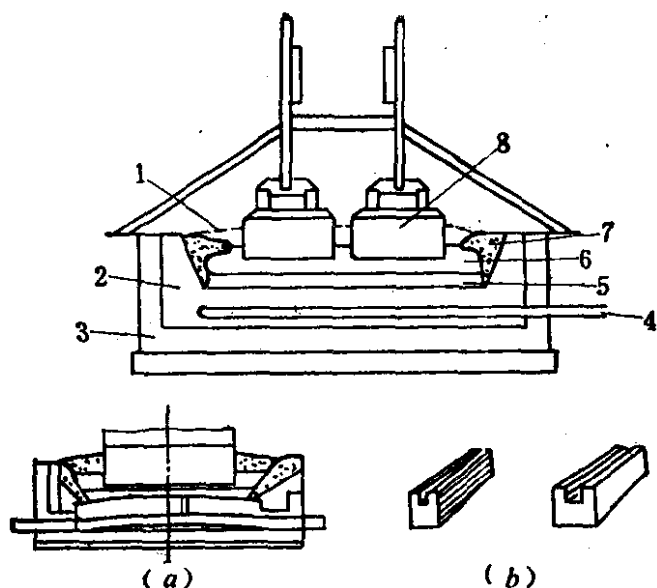


图 1-1 铝电解槽的横断面^(54, 61)

(a)—炭块隆起; (b)—炭块外形

1— Al_2O_3 ; 2—炭块; 3—后墙; 4—导电体; 5—铝熔体; 6—壳
皮 (凝固的金属熔体); 7—电解液; 8—炭阳极

表 1-7 a 有色金属用

项 目	高级粘土砖	磷酸盐结合的刚玉砖 ^①	磷酸盐结合的高铝砖	碳化硅砖
Al_2O_3	>40	85~94	85	1~3
SiO_2		5~9.5	9	6~8
Fe_2O_3	<1.5	0.2~0.13	1.5	0.6
Cr_2O_3				
CaO				
MgO		0.2~0.5	0.5	
碱金属	<1.2			0.2
SiC				90
Si_3N_4				
体积密度, 克/厘米 ³	2.05~2.19	2.8~2.98	2.8	2.7
显气孔率, %	18~22	11~18	22	14
常温耐压强度, 牛顿/毫米 ²	>350	80~180	40	>80
荷重软化温度, $^{\circ}\text{C}$	>1450			
1000 $^{\circ}\text{C}$ 时的导热系数, 瓦/米·K	1.4	2	2	13.5
1000 $^{\circ}\text{C}$ 时的热膨胀, %	0.5	0.7	0.7	0.6

① 在600 $^{\circ}\text{C}$ 左右热处理或烧成。