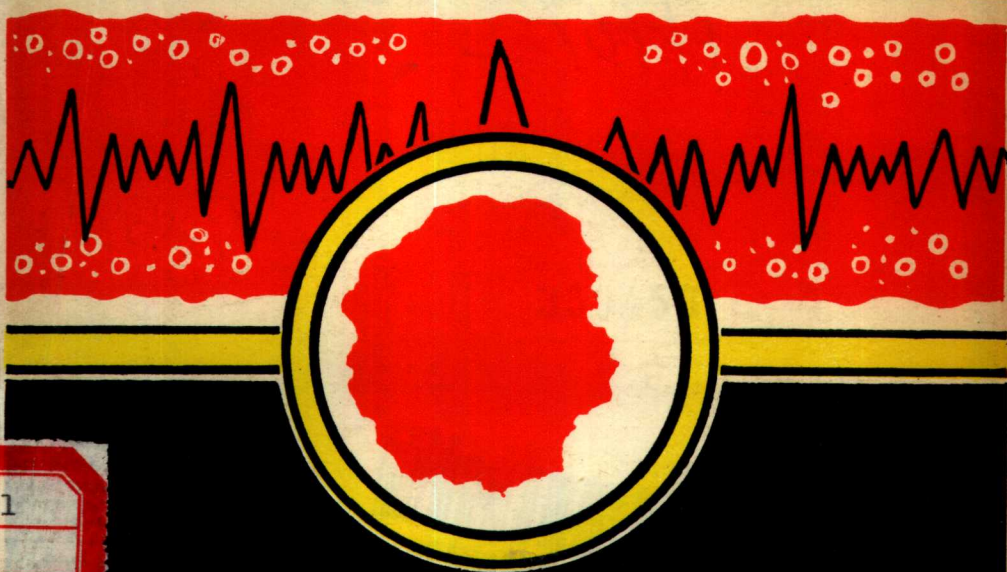


氧化铝厂 设备结垢的防治



冶金工业出版社

321

氧化铝厂 设备结垢的防治

〔苏联〕Л.Л.聂洛斯拉夫斯卡娅 著

程鹏远 侯桂林 等译

孙宝林 毛学恒 校

冶金工业出版社

内 容 提 要

本书根据苏联冶金出版社1978年出版的Л. Л. Нерославская著«Защита аппаратуры глиноземных заводов от за-
растания осадками»译出。书中阐述了氧化铝厂设备产生结垢的
机理及动力学,提出了形成结垢的理论基础,指出了电场、超声
波场和磁场对防止管式热交换器结垢的作用。书中推荐使用特种
抗粘附材料来防止大型设备结垢,并介绍了工业上利用高压水流
清除结垢的方法。

本书可供氧化铝厂、化工厂和其研究部门的工程技术人员阅
读,化工和冶金院校有关专业的学生也可参考。

参加本书翻译的有:程鹏远、田国川、崔凌华、侯桂林、白
淑纯、孙宏斌、祁春韶和唐学鸿;全书的校对由孙宝林、毛学恒
担任。

氧 化 铝 厂 设备结垢的防治

(苏联) Л.Л. 聂洛斯拉夫斯卡娅 著

程鹏远 侯桂林 等译

孙宝林 毛学恒 校

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张5字数124千字

1982年10月第一版 1982年10月第一次印刷

印数00,001~1,300册

统一书号: 15062·3884 定价0.65元
0.65

序

氧化铝的生产方法种类繁多。生产方法上的这种多样性,是由所用原料种类的不同和流程中设备工艺方案的差异决定的。但是,不管使用哪种方案,设备上都会形成结垢,从而使氧化铝生产工艺循环的连续性遭到破坏、生产方法的经济指标下降,以及采用先进的设备流程受到限制。

全苏铝镁设计研究院对溶液和料浆预热器中结垢的成分进行了研究,证明含水铝硅酸钠是结垢中的主要粘性组分。因此,研究工作中的主要精力便集中于防止这种化合物在热交换器上形成结垢。

使用超声波振动在一定程度上能够强化溶液中含水铝硅酸钠结晶的析出,但该法的能耗高,使得它无法用于工业生产。

对含硅离子的溶液和料浆进行磁力预处理,可以显著减轻热交换器结垢,而且其效率会随着磁场强度的增大而提高。这些研究成果为创建利用电场反复处理溶液和料浆的新方法和新设备提供了依据。改变处理次数和参数,事实上可以完全防止预热器和工业蒸发器壳体上形成含水铝硅酸钠结垢,从而使设备的生产能力平均提高20%。

目前,这种方法已用于氧化铝厂中,而且可以推荐给其它生产部门用来防止各种热交换器结垢。

根据在生产条件下对油漆颜料和聚合材料所做的试验,选出了一组抗粘附性和化学稳定性都十分高的涂料。按照研究出的涂料涂敷工艺,工厂可以使用任何一种现有的和我们所推荐的涂料。

涂料涂敷得好,能保证涂层的使用寿命超过六年。当然,最好是在新设备上涂保护层,因为新设备的表面易于清理干净。此外,经长期使用后的设备,修理后亦可加以清理和涂上抗粘附保

护膜。这样的保护层不仅能减轻结垢，而且也可保护设备壳体免遭碱腐蚀，延长使用寿命。

沉降槽和其它设备中的许多工艺沉淀物也难免不形成结垢。出现这种情况时，必须用化学方法或机械方法将它从设备中清除。我们提出的混合酸洗剂，实际上可以破坏任何沉淀物结垢。定期清洗设备，能够使设备在无垢状态下工作。

各氧化铝厂现在使用的清理热交换器的方法并非都是合理的，因为这些方法都是在设备上聚积了很密实的结垢和以低传热系数工作很长时间以后才使用。实际上是直到设备不能再用时，才打开进行清理。这势必造成热交换器组长期停机，设备利用系数下降。假如能定期而短时间地清除薄膜状的结垢，那就可以使用低浓度酸，而又不会腐蚀设备。

在破坏和清除设备的结垢及沉积物的方法中，水力冲击法最有发展前途。试验表明，这种方法可以清除任何不溶解的沉淀物，清洗过程可以实现自动化，而且又可利用工艺溶液和工业废水，故可提高该法的经济效益。

防止设备结垢的工作，是从一个氧化铝厂开始的，现在已推广到其它企业。我们认为，本书所介绍的成果会有助于更有效地推广和进一步完善清除设备结垢的方法。

在研究和推广试验成果的过程中，笔者曾得到H.C.马里茨、Д.В.伊里茵柯夫、B.B.梅德维杰夫、И.З.皮夫兹涅尔、С.И.别涅斯拉夫斯基、Н.И.沃洛尼娜、Е.И.艾德曼、B.Л.雷兹曼、С.А.阿尔捷缅柯、И.Я.斯托夫布尔、И.В.克拉斯尼柯夫、А.С.巴加耶夫，以及全苏铝镁设计研究院和各铝厂其他同事们的大力协助。本书的某些章节就是根据一些研究成果编写而成的。

例如，B.B.梅德维杰夫提供了生料浆预热器结垢动力学的研究成果（第二章第二节和第九章）。Л.С.鲁达舍夫斯基研究并撰写了生料浆预热器的结垢机理及结垢的组成（第二章第一节）。采用疏水添加剂防止蒸发器组产生铝硅酸盐和纯碱结垢的研究成

果(第八章),是由B.Γ.卡扎柯夫提供的。用油漆涂料和聚合物材料作抗粘附涂层的试验(第七章),是由M.Γ.那兹维契完成的。结晶光学研究是在O.И.阿拉凯良和M.B.茨维特柯娃领导下进行的。结垢组成的红外光谱鉴定是由Д.И.车霍沃利斯卡娅所做;Л.А.巴什凯维奇完成了差热分析;H.B.梅尔兹里基娜做了电子显微镜观察。

笔者对帮助搜集资料和完成书稿的所有同志致以深切的谢意。

鉴于氧化铝生产主要是处理铝土矿,因此也把主要的注意力放在这种原料上。

笔者希望书中所提出的建议能有助于防止设备结垢和进一步促进氧化铝厂及国民经济其它部门寻找出减轻设备结垢的途径。

目 录

序	(Ⅲ)
引言	(1)
第一章 含氧化铝矿物在碱液中的性态	(5)
第二章 氧化铝生产设备中结垢形成的机理	(10)
1. 生料浆预热器中结垢的特点	(10)
2. 生料浆预热器结垢的动力学	(17)
3. 贮槽及反应器的结垢	(28)
第三章 防止设备结垢方法的理论基础	(33)
1. 磁场对水溶液中结晶的影响	(33)
2. 电流对溶液中结晶的影响	(35)
3. 用超声波减少结垢的形成	(37)
4. 各种因素对晶核生成和晶体成长的影响	(38)
5. 结垢沉积过程同热力学和流体动力学条件的关系	(40)
第四章 磁处理的应用	(43)
1. 磁处理对铝酸盐溶液和料浆性质的影响	(43)
2. 磁场对热交换表面和管道结垢的影响	(52)
3. 磁处理对气压冷凝水析出沉淀的影响	(68)
第五章 使用超声波防止热交换器壁产生结垢 的合理性	(75)
1. 超声波场中含水铝硅酸钠结晶的研究	(75)
2. 超声波对热交换表面上形成含水铝硅酸钠结垢的影响	(79)
第六章 电场的应用	(90)
1. 施加电场的各种方法	(90)
2. 防止热交换表面结垢的有效方法的研究	(95)
3. 防止蒸发器产生铝硅酸盐结垢	(100)
4. 电场对二氧化硅过饱和的碱铝酸盐溶液中 铝硅酸盐 结晶动力学和机理的影响	(106)

第七章 抗粘附材料的应用.....	(110)
第八章 用具有疏水作用的有机硅液态聚合物 作结垢抑制剂	(118)
第九章 清除设备上的工艺沉淀物	(124)
1. 清除方法.....	(124)
2. 碱清洗法.....	(126)
3. 用酸清洗管件.....	(127)
4. 水力冲击清洗法.....	(133)
第三章的附录 铝酸盐溶液的结构	(138)
参考文献	(141)

引 言

挖掘生产潜力(提高现有设备的生产能力、劳动效率和劳动质量,以及改进生产的其它措施),是我们时代的要求。为了实现这个任务,必须对决定产品成本的各个因素进行全面检查。

改善氧化铝生产过程的一个方面,是减少设备的结垢。

设备的内表面附着工艺沉淀物(结垢),必然要求定期停车加以清除,因而必须装备一批备用设备,这就使得生产经济指标明显变坏。

氧化铝厂的所有设备中都会产生结垢。预热器的管壁会附上一层密实的沉淀物硬壳;种分槽和碳分槽壁、底和盖上的结垢厚度可达0.5~1米;沉降槽搅拌机的叶片结垢后,会引起电动机轴的负荷增大。

设备表面上产生结垢是复杂的物理化学过程,它与溶液的过饱和程度、设备壁和溶液间的温差以及其它因素有关。

各种设备结垢形成的性质、结垢的组成及其增长的速度并不相同。按用途的不同,可将产生结垢的设备分成热交换器、槽(搅拌槽、溶液和料浆贮槽、沉降槽、洗涤槽、水力分级机)、反应器(压煮器、种分槽、碳分槽)、管道和赤泥过滤机、硅渣过滤机、氢氧化铝浆液过滤机等几类。

换热表面上形成的密实结垢层会增加热阻,而且由于结垢的导热率低,使传热系数急剧下降。热利用系统的传热系数低,使热流得不到有效利用,结果势必过多地消耗外部热源的热量。例如,当压煮器组的生产能力为每小时 90米³ 料浆和两次清洗之间的连续工作时间为60昼夜时,因换热表面结垢使热流的利用变坏,致使热能费用增加:

结垢增长速度,微米/昼夜	50	25	12.5
增加的热能费用,卢布/年	48500	27400	17000

所以，如果加热表面的结垢速度降低二分之一，譬如由25%下降到12.5%，即可节省蒸汽20%。由此可见，防止加热管上生成结垢是多么重要。此外，压煮器组管式预热器中的压降也很重要，约占总压降的25%。

蒸发器组的换热表面结垢，会使经济指标明显下降。这里生成结垢使交流换热效果变坏，造成蒸发效数受到限制。因为要保持蒸发器组的生产能力，便必须提高换热表面已经结垢的蒸发器壳体内的有效温差。

从下列数据中可明显看出热电厂的蒸汽耗量与蒸发效数的关系：

蒸发效数	3	4	5
蒸发每吨水的蒸汽耗量，吨	0.43~0.47	0.35~0.42	0.30~0.35

可明显地看出，三效蒸发改成五效蒸发，能够显著节省蒸发每吨水所需的蒸汽量。但只有解决了换热表面产生纯碱结垢和含水铝硅酸钠结垢的问题后，才能把三效蒸发改成五效蒸发。如果每吨蒸汽的成本为2卢布50戈比，每吨氧化铝的蒸发水量为8吨，工厂的年生产能力为100万吨的话，那么改成五效蒸发后每年的经济效果可超过200万卢布。

减少贮槽的结垢也很重要。结垢会使设备的有效容积缩小，并能引起设备负荷增加和损坏设备的基础。清除大型沉降槽和洗涤槽中的结垢，劳动强度大，而且操作条件复杂。虽然氧化铝厂清除这些结垢的繁重劳动已实现机械化，但问题并未彻底解决。

此外，在氧化铝生产的连续工艺流程中，停车清理沉降槽或洗涤槽，均要求有备用设备和工作场地，这就限制了生产的提高。

主干管道结垢同样会破坏工作循环，并要求敷设辅助管线。清理很长的管道，拆卸十分麻烦。经常见到许多结了垢的新管子已不能清理，而只好换掉。

滤布结垢和被堵塞会使过滤机的生产能力急剧下降，必须经常更换昂贵的滤布，并使得生产指标下降。

人们早就在寻求防止设备结垢的方法^{[1~3]*}。

在化工和其它工业部门,为了防止设备结垢多采用以下方法:

1. 通过溶液在管道内的多次循环或提高搅拌强度的办法,来增加溶液运动的线速度^[4~7]。根据哈尔科夫基础化学研究所的资料,纯碱工业中的蒸发设备是以2.5~3米/秒的速度,以强制再循环的方式进行工作。设备壁上结晶的速度缓慢,但采用这样的速度能耗较高。氧化铝工业的实践同样证明,增大流速会减低结垢的生成速度,但这样做在经济上并非总是合理的。

2. 向溶液中添加跟析出沉淀物的化学成分相同的硬颗粒^[8]。这时沉淀物将会在晶种的表面上析出。

在斯维尔德洛夫斯克基础化学研究所曾研究出一种添加晶种来蒸发纯碱的工艺,能够降低过剩的过饱和现象和明显地减少表面结垢^{**}。

3. 向设备内加入防水锈剂——一种能减少传热表面水锈沉积速度的胶性物质(琼胶、明胶、粘胶等)。这些物质的作用原理尚未得到充分研究,但可以推测,胶性物质附着在传热表面后,能够防止表面腐蚀,减轻沉淀和结垢的形成。此外,还可以在传热表面上形成胶质层,使设备壁上难以生成晶核^[9]。

4. 添加防止产生结垢的化学添加剂。譬如,为避免高硬度热水供应系统中生成沉淀物,可使用能将盐类结合成溶解络合物的添加剂^{***}。在氧化铝生产中,往溶液中添加石灰可看成是使料浆脱硅的一种可行方法。与此同时,又必须静置一段长的时间,让料浆进一步脱硅和脱钛^{****}。

* 参阅Полянский М.Я., 《低压蒸汽锅炉结垢机理的研究》, 硕士论文摘要, М. 1951; Коваленко В.Ф., 《海水蒸发除盐器工作的强化》, 博士论文摘要, Одесса, 1970。

** 加入溶液中的惰性磨料微粒随着溶液的运动将沉淀物从设备壁上磨下。

*** Асанов П.Н., 《海水加热设备和装置的研制》, 硕士论文摘要, Свердловск, 1972。

**** Мальц Н.С. 《拜耳-烧结并联法氧化铝生产过程强化问题研究》, 硕士论文摘要, Л., 1969。

5. 使用抗粘附材料做大型设备的表面涂层。所有的涂层都会明显地降低传热能力，因此换热表面允许使用的涂膜除具有抗粘附性能外，必须具有相当高的导热性能*。

6. 在热交换器管内安装各种机械清理装置和紊流器。使用机械振动器来清除热交换器表面上的结垢^[10]，能提高传热系数，其效果在很大程度上取决于振幅，而非振动频率。

7. 使用无试剂方法防止设备结垢（如水和水溶液的磁性处理、超声波、电场处理等）。这些方法在国民经济中得到越来越广泛的应用。但在每一种具体情况下，必须了解沉淀物和溶液的成分及其性质和状态。

我们对溶液和料浆沉淀物各形成组分在电场、磁场和超声波场中的状态进行过研究，并弄清楚了各种方法在氧化铝生产特定条件下的使用前景。

电场用在我们所研制的装置上，对减少预热器换热管和蒸发器壳体上的结垢是相当成功的。磁场可明显减弱沉淀物与生料浆预热器换热壁之间的结合力。在德聂伯铝厂设备上进行的半工业和工业性试验结果证明，这种方法有必要向其他厂推广。

为了防止大型设备产生结垢，应推荐一批经工厂长期试验过的涂料。

从设备上除掉结垢，也是防止结垢危害的现实方法之一。我们所提出的酸洗混合剂能够破坏高温溶出条件下形成的结垢。一定的工艺制度配合定期清洗，能够保证设备在无垢状态下运行，但必须掌握具体的参数。

清除各种设备结垢的水力冲击法，是一种新的而又有发展前途的清除结垢的方法。试验结果可以在使用本国的高压泵和外国进口的水力冲击机的所有工厂加以运用。

* 化学电镀以及用表面抛光防止化工生产设备结垢的作法^[4]，对氧化铝厂并不适用。

第一章 含氧化铝矿物在碱液中的性态

含氧化铝的矿石是结垢形成的主要根源。根据其化学组成、矿物组成与处理工艺的不同，有一些成分进入溶液经各种变化后呈泥渣状沉淀下来。现举铝土矿为例看一看此过程。

铝土矿的平均成分为(%)：4.6SiO₂；53.0Al₂O₃；21.5Fe₂O₃；3.7FeO；2.0TiO₂；2.76CaO；0.06MgO；0.56P₂O₅；0.13MnO；0.032Cr₂O₃；0.044V₂O₅；0.015CO；0.02CO₂；13.9灼损。

组成铝土矿的矿物有：

1) 主要矿物：三水铝石 Al(OH)₃；一水硬铝石 Al₂O₃·H₂O；赤铁矿 Fe₂O₃；方解石 CaCO₃；黄铁矿 Fe₂S₃；高岭石 Al₂O₃·2SiO₂·2H₂O；绿泥石 15(FeMg)O·5Al₂O₃·11SiO₂。

2) 次要矿物：一水软铝石 Al₂O₃·H₂O；针铁矿 Fe₂O₃·H₂O；白铁矿 FeS₂；胶黄铁矿 FeS₂；金红石 TiO₂。

3) 辅助矿物：磷灰石 (Ca)₅(PO₄)₃；硬锰矿、软锰矿、黝锰矿 MnO₂；榍石 CaOTiO₂·SiO₂；钛铁矿 FeO·TiO₂；菱锌矿 ZnCO₃；闪锌矿 ZnS；黑铜矿 CuO；孔雀石 CuCO₃·Cu(OH)₂。另外，V₂O₅和Cr₂O₃的矿物形态尚未查明，显然它们呈固溶体存在于游离氢氧化铝——一水硬铝石和一水软铝石矿物中。

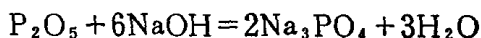
铝土矿的溶出过程就是将料浆加热到所需的温度，使含氧化铝的组分溶解于浓碱液中。在加热过程中，一些伴生矿物与含氧化铝矿物是同时溶解的。譬如，在料浆加热到95°C条件下用拜耳法溶出铝土矿时，含氧化物矿物三水铝石和伴生矿——绿泥石、蛋白石、玉髓、方解石、沸石、胶黄铁矿及其它易溶矿物都被溶解。加热到140°C以上时，一水软铝石（含氧化铝矿物）、金红石、锐钛矿、黄铁矿、磷灰石和其它矿物又被溶解。

这样一来，随着铝土矿料浆温度的升高，溶液中便富集了含

氧化铝的组分以及硅、铁、磷、钛等化合物。这些化合物在一定条件下从溶液中析出后，便成为设备表面形成结垢的原料。

在溶液脱硅或分解时，氧化铝能够析出并以沉淀物的形式结晶出来。温度在达到95°C以前时，碱铝酸盐溶液中的稳定晶型是三水铝石；超过此温度后，一水软铝石稳定。

五氧化二磷 在 $\text{PH} > 10$ 的碱性介质中（拜耳法料浆呈此状态），磷离子与石灰相互反应时，可生成一种与羟磷灰石成分相似的化合物。 P_2O_5 在拜耳法溶液中的可溶性相当高：从德聂伯铝厂使用匈牙利铝土矿五个月的情况来看，循环溶液（ Na_2O 318.5克/升）中五氧化二磷的含量为3.08克/升。 P_2O_5 与碱溶液的反应式可能是这样：



存在石灰时，磷酸钠与石灰反应：



虽然羟磷灰石的成分一般以 $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ 分子式表示，但式中的Ca:P值是变化的（从1.33至2.0）。羟磷灰石可算是一种化学分子式为 $\text{Ca}_5(\text{OH})(\text{PO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ 的含水化合物。羟磷灰石在许多弱酸中也极易溶解。

大家知道，磷与石灰的化合物难溶于酸，如化学式为 $\text{Ca}(\text{Al})(\text{PO}_4)(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 的纤磷钙铝石，其中的铝离子可被 Fe^{3+} 离子置换。当纤磷钙铝石的某些钙离子由铝离子置换时，则会出现向道尔顿体过渡的形式 $\text{Ca}(\text{Al}_2\text{Ca})(\text{PO}_4)_2 \cdot x(\text{OH}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。

文献[13]中指出，必须向铝土矿中添加大量的 CaO ，以便使 P_2O_5 在铝土矿压煮溶出时转化成沉淀。添加 CaO 对铝土矿中 P_2O_5 进入溶液的溶出率所产生的影响，可根据德聂伯铝厂的资料*判断。 P_2O_5 转入矿浆液相的数量可为45~13%，视铝土矿和赤泥中 CaO 含量而异。

* Baraev A.C., 《铝土矿压煮溶出过程的改进》，硕士论文摘要，Л., 1969.

压煮料浆溶液中五氧化二磷的含量随着溶出温度的升高而减少。但是在CaO添加量不多时，即使温度从205剧增到270°C，也不会明显提高液相的脱磷深度。

当CaO添加量超过铝土矿总量的3%时，只有在高温（250~280°C）下才能在短时间（不超过3分钟）内，较为彻底地清除溶液中的 P_2O_5 。

五氧化二磷在加热表面上的沉淀数量，与其在原铝土矿中的含量成正比。

氢氧化铁形态 铁化合物在铝土矿中存在的形态有：赤铁矿（ $\alpha\text{-FeO}_3$ ）、针铁矿（ $\alpha\text{-FeO}\cdot\text{OH}$ ）、磁性赤铁矿（ $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ）、纤铁矿（ $\gamma\text{-FeO}\cdot\text{OH}$ ）和磁铁矿（ Fe_3O_4 ）。

赤铁矿、磁铁矿和磁性赤铁矿在压煮溶出时呈惰性，并保持原形态进入赤泥；而针铁矿和纤铁矿则在溶出过程中脱水，并转化成氧化铁，然后在赤泥沉降和洗涤时水解。这正是赤泥膨胀和沉降不好的原因。

德聂伯铝厂的料浆加热试验证明，原铝土矿中含有针铁矿时，在温度高于250°C的区域内，换热管就会强烈产生高铁沉淀物结垢。

二氧化硅 对含硅矿物在铝土矿料浆中的性态，已发表过很多研究文章。铝土矿中二氧化硅的溶解速度首先决定于矿物形式：活性二氧化硅即使在较低的温度下也会迅速转入溶液^[14]；石英在温度超过140°C后，才开始与溶液反应。活性二氧化硅的溶解速度，首先取决于矿石的矿物结构：如果氧化铝是单水化合物型矿物，则铝土矿微粒在料浆中就不会快速分散，含硅矿物也不会迅速外露， SiO_2 自然也就不会出现强烈溶解。如果原料中二氧化硅的活性在长时间内相当高，溶液中 SiO_2 的浓度就会超过 $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 系平衡好多倍。铝土矿料浆中液相 SiO_2 的浓度，要降到平衡状态需经过相当长的时间^[15]。

根据条件，溶液可通过形成如下一些固相进行脱硅：含水铝硅酸钠、含水铝石榴石、含水铁石榴石和含水铝铁混合石榴石。

超声波振荡的频率和功率对溶液脱硅速度的影响 表 20

变 频 器 所需功率 瓦	不同给声频率和时间 (分) 下溶液中 SiO_2 含量*, 克/升					
	22 千 赫		44 千 赫		66 千 赫	
	10	180	10	180	10	180
30	3.3	3.3	3.5	3.2	2.8	2.8
400	3.3	3.2	2.7	2.5	2.8	2.0

* 未经超声波处理时10分钟后 SiO_2 的含量为 ~ 5.6 克/升,180分钟后为3.8克/升。

的析出程度有着明显的影响,而且振荡的辐射功率和频率越高,影响的程度也就越强。由于使用66千赫频率时,这个影响更为强烈,因此利用此频率又进行了改变溶液给声时间的试验。

考虑到在工厂条件下对大型设备建立大的超声波场有困难,且经济上不合理,因此试验按最低功率(30瓦)进行。溶液在 75°C 时开始给声,然后接通超声波,溶液被加热到 95°C 后,进行了3小时的试验,此后测量了溶液中 SiO_2 含量。试验结果如下:

给声时间,分	0.5	1	2	4	9	11	12	16	180
溶液中 SiO_2 含量*,克/升	2.9	3.1	3.0	3.0	2.8	3.2	2.9	2.8	2.8

将结果加以比较可看出,即使短时间对溶液给声,也能使 SiO_2 含量下降大约25%。看来,对脱硅时的溶液也应该做一做超声波处理试验,然后对所得经济指标进行比较。

在超声波的作用下,生成的含水铝硅酸钠结构基本上属黝方石型,不同于超声波场外生成的沸石。沸石的结晶呈立方体晶系,单位晶格参数 $a_0 = 12.32$ 埃,折射指数 $n = 1.471$ 。黝方石的结晶构造亦属立方体晶系,但比沸石更加致密: $n = 1.486 \sim 1.495$; $a_0 = 9.03 \sim 9.10$ 埃。

看来,施加超声波不仅能破坏介稳平衡的相对安定性,而且能不可逆地向更稳定的状态过渡。这时沸石结构向黝方石转变。

在电子显微镜下放大5000倍观察到的结晶粒度,未经超声波处理的为10~15微米,经超声波处理后增大到20~30微米。采用

* 未经超声波处理时 SiO_2 含量为3.8克/升。

围内，锐钛矿和金红石在 Na_2O 浓度为100~400克/升的碱和铝酸盐溶液中溶解时，主要生成 $\text{Na}_2\text{Ti}_3\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 形式的钛酸钠。

全苏铝镁设计研究院的Л.С.鲁达舍夫斯基在 Na_2O 242克/升和 Al_2O_3 114克/升浓度的溶液中，于190°C下对三水铝石矿或一水软铝石矿混以锐钛矿进行溶出时，也获得了同样成分的钛酸钠^[24]。

用水洗涤赤泥时，各种钠钛酸盐发生强烈水解，这样便可大大减少与其化合的碱的损失。

在铝土矿溶出条件下，钠钛酸盐会生成一层密实的薄膜，使氢氧化铝矿物与碱液隔离。钠钛酸盐能急剧降低一水硬铝石的溶解速度和稍许降低一水软铝石的溶解速度，但 TiO_2 却不影响三水铝石的溶解。这是因为钛和氢氧化铝矿物的溶解速度比不同。

在加入石灰溶出铝土矿时，石灰会与 TiO_2 发生反应，生成钙钛矿、羟基钛酸盐和含水钛石榴石。