

建材情报资料

总第8134号

综合类 4

赴波兰无机胶凝材料的研究考察报告

建材部技术情报标准研究所
赴波兰“无机胶凝材料的研究”考察组

一九八一年十一月



前 言

根据中波技术合作协议，我们小组一行三人于1981年6月21日赴波兰考察，7月14日回国。在波兰实际考察12天。考察内容为无机胶凝材料的研究。由于1980年赴波兰考察轻质建筑材料科学研究工作组对石膏已进行了较详细的考察，因此本小组以水泥为重点进行考察。

考察是用座谈和参观形式进行的，整个过程主要是在胶凝建筑材料工业研究院。还参观了二个具有代表性的水泥厂，一个GORAZDZE厂（干法）、一个Strzelce-Opolski厂（湿法）。此外还对矿冶学院建筑材料和陶瓷系研究所进行了访问。

这次考察时间短、人力少、内容多，故考察不够深，有不妥之处，请指正。

一、胶凝建筑材料工业研究院

(一)概况：波兰胶凝建筑材料工业研究院研究水泥、石灰、石膏等胶凝建筑材料，内容包括：

- 1、原料——原料地质，矿山开采，加工粉磨，原料综合利用和废渣利用等。
- 2、热工——煅烧工艺、新法烧成、冷却机、耐火材料等。
- 3、品种。
- 4、生产工艺的现代化——自动化仪表和设备、电子计算机应用、收尘和劳保等。
- 5、检验——物理、化验、物化测试。
- 6、技术经济、标准、情报工作。

目前研究的方向主要是从节能考虑。

该研究院的总院在波兰西南部的Opole市，有二个分院，一个在波兰南部的KRAKOW市，另一个在克尔赛市。研究院有院长一人，付院长四人，总会计一人。下设研究处，每研究处下属几个研究室。还有试验厂。总院有职工约250人，KRAKOW分院有350人，克尔赛分院有48人。职工中教授、付教授级8人，助手20人，受过大学教育的工程师250人，工人101人，其余为中等专业人员和行政人员。研究院的组织系统如下：

研究院的课题和经费，主要由五方面取得：

- (1)、国家下达的重大课题，由国家技术教育部提供经费。
- (2)、建工建材部下达的课题，由部调拨经费。
- (3)、联合企业下达的课题，由联合企业提供经费。
- (4)、工厂委托的课题，根据合同由工厂付款。
- (5)、别的部门和地方委托课题，根据合同付款。

波兰理论研究主要在高等学校进行。研究院的课题主要是工艺应用方面较多，理论研究多与高等学校合作进行。在研究过程中，他们重视基础研究，把机理弄清楚以后，再进行小型、大型的试验，取得工艺参数，再到工厂进行工业试验，验证工艺参数的可靠性，然后推广使用。

研究院很重视提高员工的业务水平和培养人才，有专门科室抓这项工作。具体办法是：

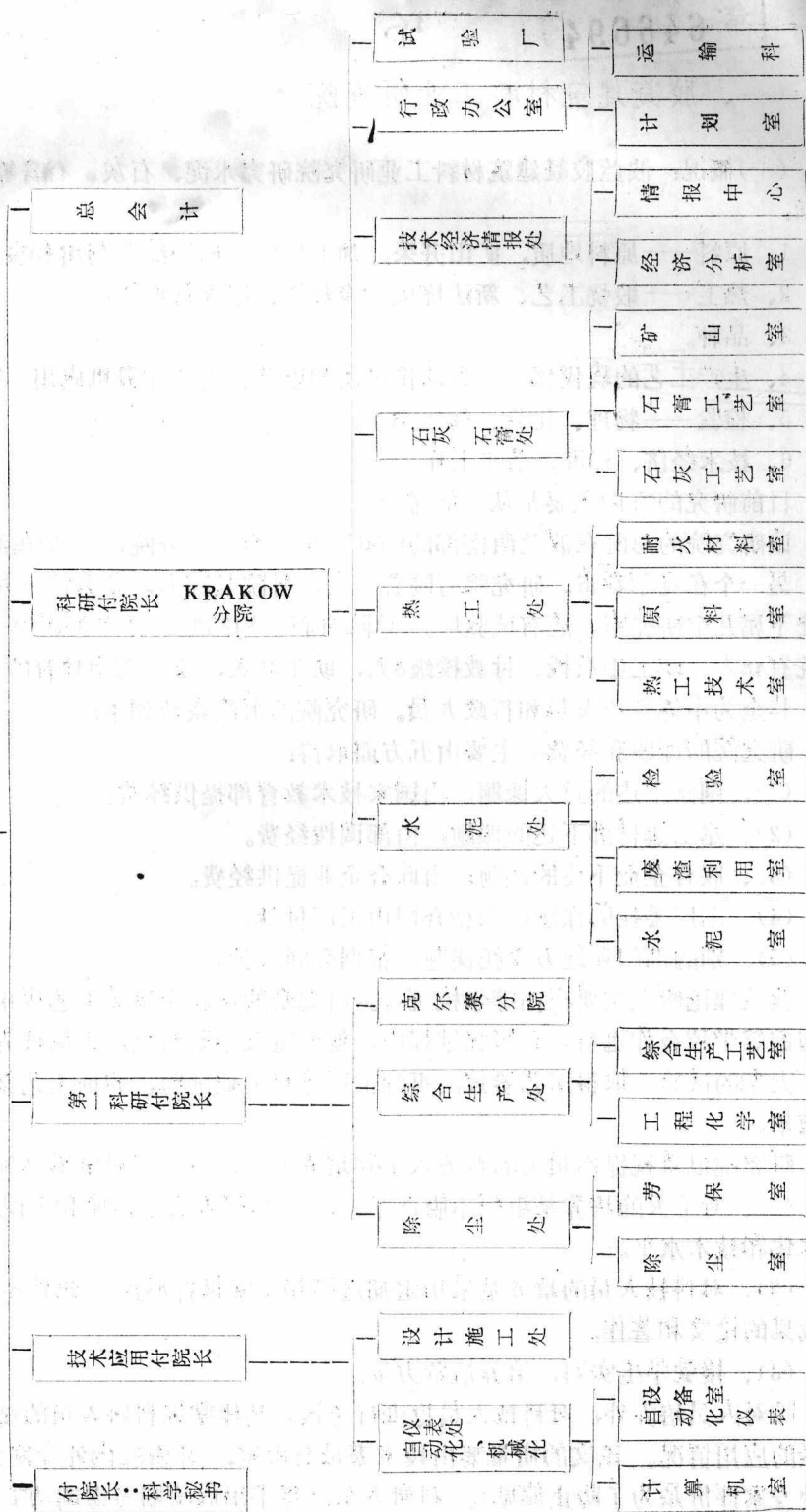
- (1)、对工人的培养是组织不脱产学习，采用报告会、讲座和上课等形式，以提高工人的文化和技术水平。
- (2)、对科技人员的培养是采用定期进修和专家报告形式。此外还协助科技人员发表研究成果的论文和著作。
- (3)、接受学生实习，培养后备力量。

除对人员培养外，对科技人员也进行考核。具体掌握科研人员的论文数量、质量和科研成果的应用情况。论文的质量要由技术委员会审定，并由院内外专家各一人写出评价(要院内外专家评价是为了防止偏见)。科研人员三年不出成绩则考虑调动工作。有成绩的则给予提职、提薪、称号或奖金等奖励。

(二)水泥工艺：

胶凝建筑材料组织系统

院长(Opole总院)



波兰水泥工业的设备能力有2600万吨/年，1979年最高年产量为2400万吨。1981年由于政治经济形势的影响和缺煤，估计年产量只有1500万吨。

原料：

波兰有丰富的石灰石矿，多在南部，属中硬矿石，化学性能变化较大，且含有有害物质。东部地区有白垩，质软可用水冲开。波兰粘土资源缺乏，因此水泥工业中除大量使用次石灰石(凝灰岩)代替粘土外，还尽量利用其他工业废渣代替粘土，全国只有5个水泥厂使用粘土。

波兰石灰石矿是采用爆破开采。钻孔直径80~105毫米，深度15~25米，角度75°~85°，每孔装炸药30~300公斤。炸药消耗量为100~250克/吨。矿山剥离工作是用推土机、挖土机和自卸车进行。所用推土机有三种：

- (1) 苏制DET-250推土机，只能剥土，适于剥离层薄的矿山。
- (2) 波兰制T-100推土机，土和石块均能用，但马力小。
- (3) 美制D-9G(410马力)大型推土机，前面可以推，后面有齿可以挖，剥离质量好，石层表面干净。这种推土机在矿石强度2000公斤/厘米²时，可以不爆破而直接挖矿石，开挖层40~90厘米厚。

所用挖土机有三种：

- (1) 波兰制KU-120G型，抓斗容量1~1.2M³，用于小矿山。
- (2) 东德制UB-1212型，抓斗容量1米³。不好用。
- (3) 捷克制E-301型和E-302型，抓斗容量3~3.2米³。目前波兰主要使用这种挖土机。

所用自卸车有四种：

- (1) 捷克制Tatia12吨
- (2) 苏联制Biesan27吨
- (3) 苏联制Kraz16吨

(4) 瑞士制KOUMAS35吨

开采爆破使用的钻孔机有：

- (1) 波兰制W0H-75B回转式，深度35米，直径80~100毫米，适用于软性和中硬性矿石。
- (2) 波兰制UDAREX冲击式，深度20~25米，直径80毫米。
- (3) 瑞典制ATLAS KOPCO-ROC601型和602型冲击式直径80~105毫米，适用于硬矿石。

(4) 西德制Housecherr HBM-15-KHY型，自动化操作，深度70米，直径80~135毫米。

(5) 奥地利Böehler-TCDD-221型和221-F7型。性能比西德的好。

所用炸药是Salctrol(主要是NH₄NO₃和煤油)，使用前在现场按NH₄NO₃96%和煤油4%拌合。这种炸药在拌合前是不会爆炸的，因此绝对安全，便于运输和储存。波兰已研究出一种新炸药，将要使用。据说材料是AN-FO，容重1.15-1.3吨/米³。优点是比水重，防水，不引爆是不能爆炸的，因此绝对安全，对人体健康无害，可在矿山生产，价格便宜。

粘土矿开采用KWK-106型挖掘机，边挖边用皮带机运输。

在配料上，波兰研究并使用自动化系统，就是用x-荧光分析，计算机配料、自动皮带秤计量的配料系统。工厂每小时一个出磨生料全分析，及时调整配料。这种系统，劳动强度低，工人只起监督作用。

原料粉磨多采用球磨机。干法生产时，是同时干燥和粉磨，电耗为28~30千瓦小时/吨。目前干法厂正计划用立式磨粉磨原料，波兰已能设计和生产这种磨。现在有二个工厂是使用西德进口的立式磨，电耗只有14千瓦小时/吨。西德立式磨的滚轮可磨350万吨生料才更换，波兰自己铸造的滚轮已使用6个月(产量300吨/小时)仍在运转。由于使用白垩原料，湿法厂料浆水份较大，为38~44%。波兰为了节省能源，正研究把湿法厂改为半干法厂。

波兰入窑生料要求 MgO 含量少于2%。 Cl^- 对予热器窑影响较大，西方要求低于0.015%。在波兰原料中 Cl^- 含量较少，只有0.005%。但煤中含 Cl^- 较多，达0.2~0.3%。

2、煅烧:

波兰全国有24个水泥厂，99台窑，其中回转窑93台，立窑6台，见附表。湿法产量占60%。

湿法窑规模现200~1800吨/日，主要规模有三种：600吨/日型，建于1955年以后，1200吨/日和1800吨/日型建于70年代，这三种规模占湿法窑的80%，平均热耗1750千瓦/公斤熟料。湿法窑有六台是带料浆蒸发机的，其余均为链条热交换，有些湿法长窑内还装有链条加热器。链条带一般分为三段：靠窑尾的第一段挂链密度为3~4.5米²/米²。中间一段挂链密度2~3米²/米²。第三段挂链密度为1~2米²/米²。第一、二段用普通钢链条，第三段用耐热钢链条。出第二段的物料水份≈0%，物料温度100~105℃。出第三段物料温度为250~300℃。链条加热器的挂法如图1所示，用耐热钢链条，出加热器物料温度为500℃。湿法窑的窑尾温度为180~220℃。

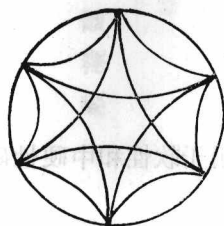


图1: 链条加热回挂法

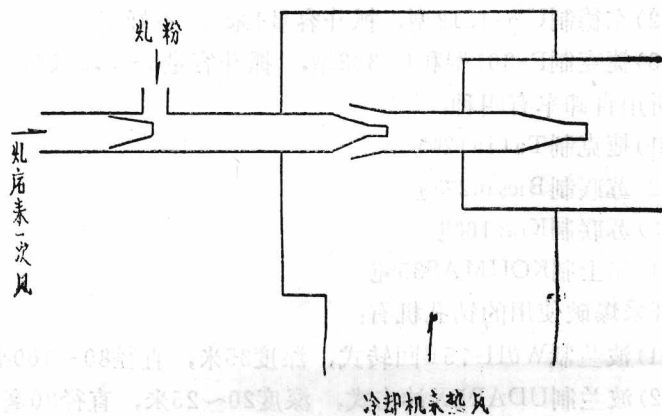


图2: 二次喷孔管示意图

较现代化的干法窑有1977年投产的，由丹麦引进的 $\phi 5.7 \times 92$ 米带双系列四级予热器的旋风予热器窑，产量为3500吨/日。其次是1962年投产的，由西德引进的 $\phi 3.6 \times 51$ 米洪堡窑，产量28吨/时。还有丹麦引进的 $\phi 3.75 \times 145$ 米干法长窑，产量27吨/时。干法窑热耗为900~1100千卡/公斤熟料(丹麦引进的旋风予热器窑热耗为780千卡/公斤熟料)。

立窑是西德引进，直径3.4米，高度13.1米。

波兰水泥工业主要以煤为燃料，所用煤的热值为5000~5800千卡/公斤。煤粉制备多用风扫磨。使用一般煤时，用一次喷煤嘴。当使用低热值煤时，除增加煤粉细度外，采用二次喷煤管(如图2所示)，以提高一次风温度，加速燃烧。

波兰根据对洪堡窑多年使用经验,认为:洪堡窑予热器能力大,而窑的能力少,计划把洪堡窑改为窑外分解窑。结合波兰以煤为燃料的特点,研制出波兰专利的烧煤分解炉,这种分解炉的特点是没有高温中心,即没有煤粉点燃的高温点,整个过程不超过900℃,因此,不会引起煤粉熔融粘结(波兰人员认为目前各国的分解炉均有燃料燃烧的高温中心)。此种分解炉没有专门的燃烧室,可以使用劣质煤(灰粉=40~45%,发热值 $\theta=3800$ 千卡/公斤)。已在0.04吨/时流程和2.5吨/时半流程进行过试验,现已设计出30吨/时的分解炉,今年将在 $\varnothing 3.6 \times 51$ 米洪堡窑上试生产,通过验证设计参数的正确性后,于1985~1986年将制造出波兰式的窑外分解窑设备。目前正进行能力为1200吨/日、2400吨/日和3600吨/日三种规格窑外分解窑的设计。1200吨/日窑是采用立式冷却机。2400吨/日和3600吨/日窑采用立一篦式冷却机。从试验流程的外形参观和介绍,波兰的窑外分解炉实际上是采用扩大竖烟道燃烧的类型。在竖烟道内加入20%燃料,使竖烟道内气体温度提高50~100℃,物料通过竖烟道(分解炉)后,分解率由35%提高到70%,入窑物料温度由820℃提高到840~850℃,从而提高窑的产量。

上述的立式冷却机和立一篦式冷却机是波兰研究的成果。波兰立式冷却机的研制是基于沸腾热交换原理。在立式冷却机上层装有几个风帽式喷嘴,使上层熟料形成沸腾层,迅速冷却。喷嘴安装的位置和方法,有些像我国立窑中心风管的安装。图3所示为能力15吨/时立式冷却机的示意图。这种立式冷却机的工艺参数是:

沸腾层厚:400~800毫米

熟料温度:进口1200℃,出口80℃

熟料温度:进口1200℃,出口80℃

鼓风压力:1000毫米水柱

鼓风量:1~1.2标米³/公斤熟料

熟料粒度:<300毫米

这种立式冷却机与篦式冷却机相比,其优点是:(1)热效率高,设备体积小,省材料。

(2)空气用量少,立式机为1~1.2标米³/公斤熟料,篦冷却机为3~4标米³/公斤熟料。因此二次风温高。

(3)回收热量全部进窑,热经济合理。

(4)电耗与篦冷机相近。

能力为15吨/时的立式冷却机已在波兰水泥工业生产中使用。世界上除波兰外,还有西德瓦尔特公司生产立式冷却机,但波兰的立式机比西德的高度矮。

立一篦式冷却机是将立式冷却机与篦式冷却机相结合的一种型式(如图4所示),这种冷却机既适于作大型冷却机,也可作为篦冷却机改造之用,办法是利用窑和篦冷机高差之间,安装一台立式冷却机,而利用篦冷机作为立式冷却机的卸料装置,并使熟料在篦冷机上继续冷却。熟料通过立式冷却机后,温度由1200℃降到400℃,这样可以大大提高篦冷机的能力。这种立一篦式冷却机用风量为1.2~1.6标米³/公斤熟料,立式机部份的鼓风压力为800~1000毫米水柱。立一篦式冷却机的优点是:

(1)回收热量能大部份入窑利用,热经济好。

(2)由于熟料到篦冷机时的温度只有400℃,因此篦子板可用普通钢。

波兰还研究成功一种对篦冷机简单改造的方法(如图5所示)。就是将篦冷机的布料板改为炉栅,通过栅缝鼓入空气,熟料处于半悬浮状态被冷却,迅速与空气进行热交换,这

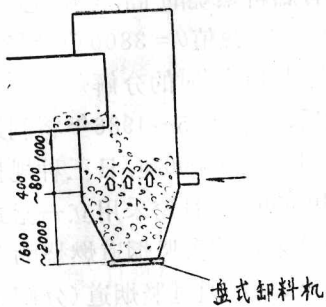


图3: 15 1/4 H 立式冷却机示意图

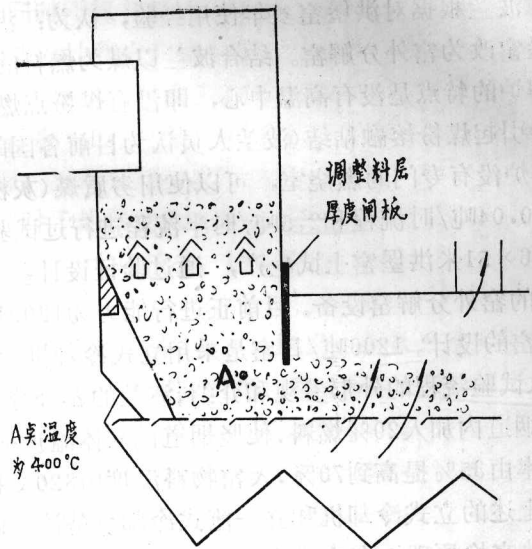


图4: 立—篦式冷却机示意图

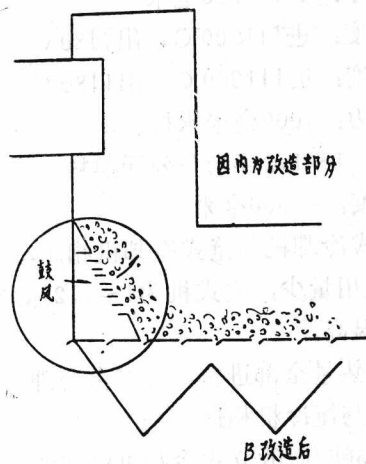
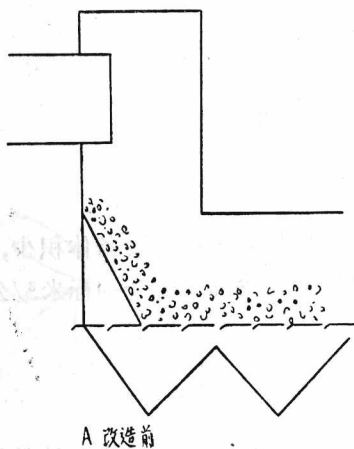


图5: 篦冷机简单改造示意图

样，熟料到篦子板时的温度可由原来 1200°C 下降到 850°C 。篦冷机的能力就可提高25~30%。炉栅分为三室，中间室风速大，两边风速小。用调整栅缝中空气喷出速度来布料。这里的鼓风压力为800毫米水柱，风量 $0.2\sim 0.3$ 标米³/公斤熟料。炉栅要耐 1000°C 的材质制造。波兰有五台能力为1800吨/日和3台能力为1200吨/日的窑，原来使用苏联制造的伏尔加75型和伏尔加50型篦冷机，效果不好，经用此法改造后，收到满意的效果。

为了节省能源，在煅烧工艺上，正研究将湿法改为半干法和利用劣质煤。波兰认为在当前燃烧价格情况下，把湿法改为干法是不经济的，因为湿法改干法必然要采用予热器或窑外分解，提高窑的生产能力，这样，原有配套设备均能力不足，必须加建或改建，对原来较旧的设备，几乎要全部新建，改造的费用与新建一条工艺线的费用差不多，甚至更多，而且稍

有考虑不周之处，还会影响熟料质量。假若不用予热器窑，而只改为干法磨机和新建予均化库，这样，其他附属设备仍可用，产量能提高5~10%，此法稍好些。较合算的方法是湿法改为半干法。办法是用料浆压滤机，将料浆水份压滤到18%左右入窑，热耗可降到1150千卡/公斤熟料。另外一办法是带料浆蒸发机窑的改造(也是一种改半干法的方法)，如图6所示，在竖烟道内加入煤粉15~20%，使烟道内气体温度提高到1100~1150℃，烟气进蒸发机的温度提高到800~900℃，使出料浆蒸发机的物料水份接近0%，物料进窑后，被安装在窑尾的扬料勺将部份物料扬起，被气流带入烟道内进行予分解，再由旋风予热器收集进窑，这种改造方案可以适当提高窑的产量和降低热耗。此方案已进行工业试验设计，但由于波兰当前经济原因，仍未进行工业试验。

波兰在新的烧成方法方面也进行了研究，所采用的方法有：

(1) 熔融煅烧，温度2000~2200℃。试验结果认为，此法不经济。

(2) 旋风烧成：这方法已研究成功，并取得专利权。但波兰承认为这种方法对水泥工业不适合(对有色金属和煤气化工业较合适)，热耗较大1800~2500千卡/公斤熟料，电耗也大120千瓦小时/公斤熟料，很不经济，熟料质量不好，而且液相出现的处理也困难。

(3) 现正研究使用电弧高温点燃烧成，如图7所示。是利用石灰石和煤矸石配料，物料从炉顶撒入炉内，通过旋转电极产生1000℃的高温区，燃料被点燃，并在炉内继续燃烧，形成熟料。此法是一种方案，进行了试验设计，但仍未进行过试验。

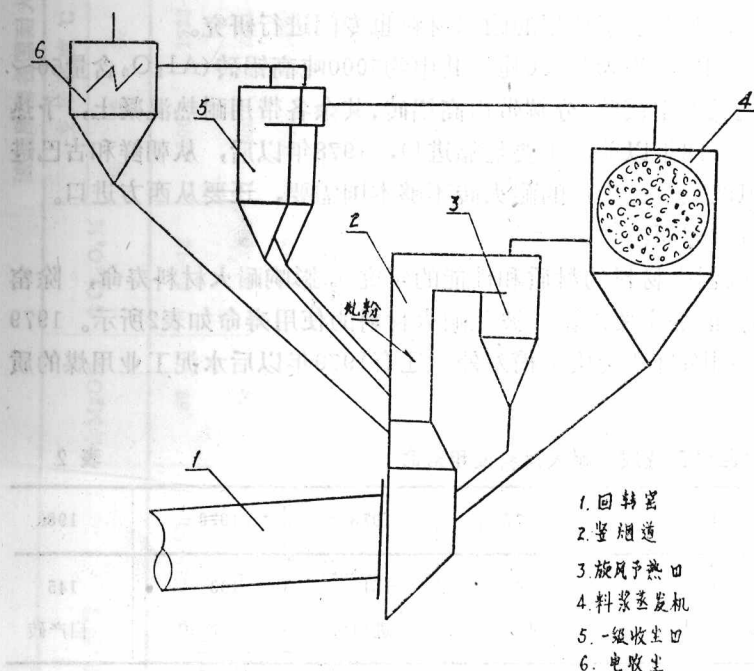


图6. 料浆蒸发机窑改造示意图

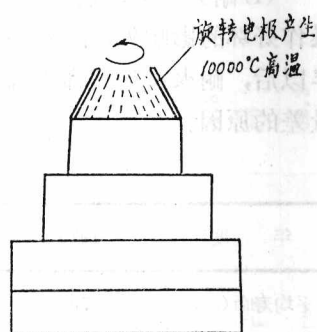


图7. 电弧高温点燃烧示意图

波兰除煅烧工艺上的研究外，还进行了一些热工测定方法的研究和应用。

(1)、利用同位素 L_{140} 测量物料运动速度，这项试验研究是在日产3500吨/日的旋风予

热器窑中进行。将 L_{a}^{140} 与物料混合，一起喂入予热器内，并开始测量 L_{a}^{140} 到达各级予热器的起始时间、高峰时间和完全通过时间，这样可以得到物料在予热器内运动的速度。其结果列于表1。

表 1

组 别	时间(秒)	* ₁ 予热器	* ₂ 予热器	* ₃ 予热器	* ₄ 予热器	进 窑
第一组	起始时间	9~10	12	32	44	60
	高峰时间	21~24	35	45	65	65
	通过时间	35~44	64	76	105	165
第二组	起始时间		7	8	10	14
	高峰时间	21~22	25	39	54	57
	通过时间	22~23	38	51	66	74

(2) 利用同位素 C_{a}^{140} 测量窑内物料负荷率：这项试验也是在日产3500吨/日的旋风予热器窑中进行。测量的结果认为：窑速1.6转/分，填充率 $\leq 12\%$ 时操作较好，推翻了丹麦史密斯公司原来提供窑速2转/分，填充率 $\leq 9\%$ 的操作参数。

(3) 利用同位素测定煤风管内煤粉浓度，原理是利用同位素 γ —射线穿过煤风管被吸收情况，计算出煤粉浓度。

(4) 正在研究利用激光测定管道内气体含尘浓度。

波兰煅烧方面除上述研究外，对煅烧系统用的耐火材料也专门进行研究。

波兰水泥工业耐火材料每年用量约为30000吨，其中约5000吨高铝砖(Al_2O_3 含量50~60%)。窑内冷却带用高铝砖，烧成带用镁砖，分解带用高铝砖，其余各带用耐热混凝土，予热器用高铝砖(顶部用挂砖形式)。1978年以前，主要是靠进口，1978年以后，从朝鲜和古巴进口镁质原料，自己制造镁砖。但波兰自己生产的耐火砖不够本国需要，还要从西方进口。

耐火材料研究工作，主要有四方面：

(1) 耐火材料，特别是高温区耐火材料的材质和性能的研究。影响耐火材料寿命，除窑操作好坏的影响外，本身材质和性能是主要因素。波兰耐火材料的使用寿命如表2所示。1979年以后，耐火材料寿命缩短，原因除自产砖质量稍差外，还有1979年以后水泥工业用煤的质量差的原因。

波兰回转窑烧成带耐火材料使用寿命

表 2

年 度	1975	1976	1977	1978	1979	1980
平均寿命(天)	178	165	176	151	133	145
砖 别	进口砖	进口砖	进口砖	进口砖	自产砖	自产砖

目前波兰使用的耐火材料的性能和化学成份如表3、表4所示。波兰认为表3所列各国的砖中，巴西产的质量最好。 MgO 含量在90%以上的砖，在干法窑上的使用寿命可达400天。现在波兰正研究一种称为Calcor—K的耐火砖，主要含 CaO 98%，使用寿命可达480天。还研究一种叫422砖，其比重4.25吨/米³。波兰耐火材料的发展方向是以石灰石和白云石为原料的耐火砖。

波兰所用各国耐火材料性能

表 3

国家、厂名、型号	含MgO%	含Cr ₂ O ₃ %	变形温度 °C		耐压强度公斤/米 ²		气孔率 %		体积密度 克/厘米 ³
			标	实	标	实	标	实	
波兰	Wg BN-75/6766-01 ZMO HIL MC-2	6-12	1500	1520-1630	300	330-750	20	12-20	2.9-3.1
	SZMO DZM ZMR MC-3	6-10	1560	1550-1650	300	126-780	20	16-20.5	2.75-3.04
	DZM Swidnica MC-4	70	1660	1650	300	350-765	20	18-20.2	2.8-2.95
	ZM Ropczyce MC-6	75	1650	1650	300	313-665	20	16.5-20.5	2.7-2.95
	DZM Swidnica MCN	60	1650	1650	300	300	20	16.5-20	2.7-2.95
澳大利亚	Radex A	85	1550	1550-1640	400	427-1100	18	13-16	2.9-3.0
	Radenthein Radex W	90	1550	1550-1630	350-650	455-970	14-17		2.85-2.95
	Radex EZS	67	1550	1600-1650	400-700	625-995	17-20		2.9-3.0
	Radex WZS	79	1700	1650	500-800	700-1015	16-19		2.9-3.5
澳大利亚	Ankral N-6	74	1600	1610-1650	350	450-1020	18-22.5		3.05-3.2
	Ankral G-6	78	1600	1590-1670	350	445-1020	22	17-18.5	2.95-3.05
	Ankral NM-65M		1750	1650	300-600	450-700	16-19		3.05-3.2
捷克	Lovinit LIIIV	65	1650	1650	300-500	520-950	14-17		2.95-3.15
	Lovinit LIILc	70	1550	1610-1650	300-500	330-645	16-20	2.9-3.12	
巴西	Magnefor E	82	1750	1650	300-400	360-915	21-23		2.82-2.88
南斯拉夫	Mahromit VPA	64	1600	1650					
	Mahromit C	78	1600	brak dangch	350		17-21		
加拿大	Magnecon T	54.8	1470	1470-1520	280	485-1010	18-22		2.78-2.87
西德	Rubinal FZ	80	1600	1600-1620	400	480-630	16-20		2.95-3.0
东德	Sindoform	38.2			300	530-680	17		2.78

各种耐火材料化学成份

表 4

砖 型 号	str·praz	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Cr ₂ O ₃
MCN Otrzymyane	1~3.5	2.8~5.2	2.4~3.1	3.5~5.3	1.4~3.3	68.7~75.5	8.7~13.7
	2.6	3.7	2.7	4.7	2.3	71.8	12
MC-3 Popczyce	0.1~0.5	1.4~5.1	0.9~5.5	2.5~5.3	1.7~3.6	71.8~85.1	3.1~11.9
	0.3	3.9	2.9	4.3	2.7	78.3	7.5
MC-6 Popczyce	0.2~0.5	1.8~4.0	1.2~5.7	2.6~6.1	1.6~3.6	72.7~88.8	1.5~11.3
	0.3	2.7	3.4	3.7	2.7	81.6	5.4
MC-4	0.3~0.4	2.6~3.6	2.5~4.4	3.8~5.5	2.2~3.0	77.7~78.8	7.1~8.4
	0.4	3.1	3.5	4.5	2.6	78.2	7.7
MC-3	0.4	4.8	2.3	7.3	3.4	70.9	9.8
MC-3 Skawina	0.4~0.5	4.6	2.2~2.6	3.4~4.9	2.3~2.8	78.7~80.1	5.8~6.8
	0.5	4.6	2.4	4.2	2.5	79.4	6.3
Magnefor E	0.4~0.5	2.7~3.6	3.4~4.4	3.5~3.7	0.9~1.6	82~84	3.9~4.4
	0.5	3.2	3.9	3.6	1.2	83.1	4.2
Ankral NM65 A	0.7	0.9	4.7	13.3	1.8	66.3	11.9
Radex A	1.3	3.7	5.6	3.5	3.0	82.1	
Radex EZS	1.4~1.7	4.1	6.2~6.5	6.6~6.9	2.4~2.6	69.7~70.1	8.7~8.9
	1.6	4.1	6.4	6.7	2.5	69.9	8.8
Radex WZS	1.3	2.7	4.7	3.6	1.1	78.3	7.8
Mahromit VPA	/	3.4	4.9	5.6	2.8	69.7	13.7
Lovinit L111C	0.4	2.6	2.5	8.3	2.8	73.4	9.4
Lovinit L111V	0.4	2.1	3.2	9.4	2.8	68.6	13.0
AK75	0.3	19.6	76.4	2.2	1.3		
AL-60	0.1~0.8	32.7~40	53.7~61.9	2.3~2.5	1.1~1.3	1.2~1.5	
	0.4	35.5	58.6	2.4	1.2	1.3	
AL-44	0.2~0.3	43.8~56	40~51	2.3~2.4	1.5		
	0.3	49.9	45.8	2.4	1.5		
AW	0.4	55.5~58.4	35.9~36.9	3.0~3.4	1.3~1.4	1.3	
	0.4	57	36.4	3.2	1.4	1.3	
B	0.3	62.3	30.2	3.7	1.7		
Oxylex 125	4.5	58.3	23.8	2.6	1.1	0.3	

(2) 耐火材料统一规格的研究。从适合各种窑规格、适合于砌筑(尺寸大小和重量合适)的角度去研究耐火砖的规格,以便于生产和计算使用量。现在波兰普通耐火砖(窑用)的规格如图8所示,这种规格的砖,可适用于各种窑径的窑,其重量和尺寸大小均适合于砌筑。由图表可迅速查出各种窑的用砖量。

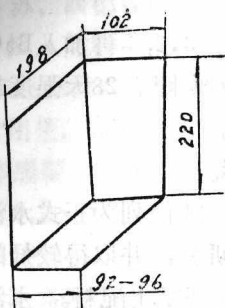


图8. 波兰标准耐火砖尺寸

(3)耐火材料质量标准的制定和产品质量的监督。波兰耐火材料标准是由冶金部统一归口，冶金部耐火材料研究所负责制定标准，但水泥工业使用耐火材料标准的制定是要经胶凝建筑材料工业研究院耐火材料室根据冶金部标准和水泥工业的实际情况进行修订，再由冶金部修正报国家批准执行。水泥工业耐火材料质量标准制定后，耐火材料室对产品的质量有权监督和检查。水泥厂购进一批耐火砖，由耐火材料室抽样检查其质量，若不合规定，有权向生产单位退货。

(4)耐火材料砌筑的研究。结合耐火材料性能和使用需要，研究其砌筑的要求和质量。波兰目前除人工砌筑外，大于4米直径的窑是用加拿大莫特灵公司引进的机械进行砌筑。这种机械砌筑速度达8米/昼夜。例如 $\varnothing 5.7 \times 92$ 米窑，其38米烧成带的砖，4天可砌完。水泥窑耐火材料砌筑质量也由耐火材料室负责抽查。

3. 水泥品种和废渣利用：

波兰生产的水泥主要是25号和35号普通硅酸盐水泥，还有矿渣水泥。按波兰标准规定：25号硅酸盐水泥中容许掺入20%矿渣，35号硅酸盐水泥容许掺入15%矿渣。矿渣水泥容许掺入矿渣30~80%，波兰一般是掺入50%。在普通硅酸盐水泥和矿渣水泥中还容许掺入少于15%的粉煤灰。

除此以外，波兰研制的特种水泥有：

(1)火山灰水泥。波兰火山灰水泥是熟料中掺入大量粉煤灰制成。25号火山灰水泥容许掺入粉煤灰40%；35号火山灰水泥掺入粉煤灰30%。所掺入粉煤灰要求细度为0.2毫米筛筛余少于10%；含煤量少于10%；含硫量少于0.5%。这种火山灰水泥的特点是：a)凝结慢，早期强度低。b)水泥热低，后期强度增长时间长。c)抗渗透性好。d)抗侵蚀性好。e)体积收缩小。

(2)高强快硬水泥。波兰高强快硬水泥的制造，有二种生产工艺。旧的生产工艺是：

a)高饱和系数： $KH = 0.96 \sim 1$

$C_3S 65 \sim 70\%$ ， $C_2S 2 \sim 7\%$ ， $C_3A 12 \sim 13\%$ ， $fCaO < 1\%$ 。

b)粉磨时加入熟料量的0.1%的外加剂(K_2SO_4 或 Na_2SO_4)。即：熟料：石膏： $K_2SO_4 = 100 : 6 : 0.1$ 。

c)超细磨：比表面积为4200~5000厘米²/克。其水泥强度如表5所示：

表 5

比表面积厘米 ² /克	1 天强度公斤/厘米 ²	28天强度公斤/厘米 ²	备 注
4200—4500	175	400	
5000	240	500	多加 K_2SO_4

d)要求所用煤的热值大于5600千卡/公斤，灰份少于15%。

这种旧工艺技术要求高，成本贵，在经济上不合算。

新工艺是用普通熟料($KH = 0.92 \sim 0.94$ ， $C_3A 9 \sim 10\%$)，加入0.1~0.7% BaO ，再细磨。

同样可得高强快硬水泥。

(3) 55号高强水泥。这种水泥的熟料是： $KH=0.9\sim0.93$ ， $n>3.2$ ，再加入BaO粉磨至比表面积4200厘米²/克。这种水泥12小时强度可达350~400公斤/厘米²，28天强度580~620公斤/厘米²。这种水泥用于薄壳结构、混凝土轨枕和高强构件等。

(4) 膨胀水泥，波兰正研制的是硅酸盐膨胀水泥，仍没有生产。

新品种水泥研制必须通过生产试验和应用试验，取得合格证，才能列为正式水泥品种。

波兰对于废渣利用的研究，比较重视，有专门的研究室进行研究，并取得较好的成果。波兰24个水泥厂中，除5个厂使用粘土配料外，其余均采用废渣代替粘土配料。水泥工业每年使用废渣1000万吨以上。

波兰工业废渣的来源，有五个方面：

(1) 矿山工业废渣：例如选煤尾矿(煤矸石)，石灰石矿山的次矿(凝灰岩等)，BaSO₄选矿的尾矿(含BaSO₄20~30%)，页岩等。

(2) 冶金工业废渣：例如矿渣、镍渣、铜渣，冶金工业粉尘(含Fe₂O₃40~50%)可代替铁粉使用。

(3) 能源工业废渣：例如粉煤灰、炉渣。

(4) 化学工业废渣：例如磷石膏。

(5) 水泥工业废渣，窑灰。

波兰废渣利用主要分为二类：一是掺入生料中使用，即作配料组份和矿化剂。二是掺入熟料中使用，即作混合材、缓凝剂和外加剂。

(1) 掺入生料中使用。

A. 代替粘土：波兰粘土资源缺乏，利用废渣代替粘土是有重要意义的。代替粘土的废渣有：a) 利用次石灰石(凝灰岩)代替粘土配料，所谓次石灰石是指CaCO₃含量少于80%的石灰石。

b) 利用页岩配料。页岩配料使用范围可以较广，只要能配得合适的成份，都可以用。

c) 利用粉煤灰配料。只适用于石灰石中硅酸率较高的工厂。而且运输过程中飞扬较大，因此，在靠近热电站的工厂，用水力输送粉煤灰，湿法生产的工厂较适合。波兰只有亚拉鲁(干法)和古拉雅(湿法)两厂使用，全年使用量不超过20万吨。

d) 利用矿渣配料。只适用于干法厂。矿渣难磨，磨机损耗大，电耗也大。在波兰使用矿渣配料热耗未见降低。波兰只有两个厂使用矿渣配料。

B. 代替铁粉配料。波兰以前是使用硫酸工业废渣(含Fe₂O₃70%)作为铁质成份原料。但是，波兰已不用硫铁矿生产硫酸，这种废渣没有了。只能利用冶金工业的粉尘作为铁质原料，这种冶金粉尘含锌和金属铁，对人体有害。目前，波兰冶金粉尘每年有100万吨，不能满足水泥工业需要。

C. 作矿化剂。利用BaSO₄尾矿掺入生料中作为矿化剂，掺入量约1~2%，换算为熟料中含BaO0.1~0.7%。可以降低熟料烧成温度(1300~1350℃烧成)，对节能有重要意义，而且所得熟料质量较好，可生产高强快硬水泥。加入BaO主要是Ba⁺²取代了C₃A和C₂S中的Ca⁺²。波兰对这种熟料进行过检验，发现：

样品1中C₃S含Ba⁺²0.25%，C₃A含Ba⁺²0.79%。

样品2中：C₃S含Ba⁺²0.31%，C₂S含Ba⁺²1.42%，C₄AF含Ba⁺²0.17%。

据说美、苏、西德等国家均在进行此项研究工作。

(2) 掺入熟料中使用。

A. 作混合材。主要是矿渣和粉煤灰。波兰矿渣混合材用量，每年 200~300 万吨。粉煤灰混合材用量，每年 50 万吨。此外，还有用窑灰作混合材，容许掺入量少于 15%。

B. 作缓凝剂。主要是磷石膏。作缓凝剂的磷石膏要求含 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 95%， P_2O_5 ~ 1.5%， F 0.5~0.7%。用磷石膏作缓凝剂较便宜。

C. 作外加剂。主要是 BaSO_4 尾矿。在水泥中加入 1~2%，(换算为 BaO 0.1~0.7%)，可以改善水泥高强快硬性能，1、3、7 天强度均有所增加，28 天强度可增加 80~100 公斤/厘米²。在国际上很多专家均在进行研究，认为除 BaO 外， P_2O_5 ， B_2O_3 ， TiO_2 ， Cr_2O_3 均有效果。这项研究只有波兰已在生产实践中使用，证明是有效果的。

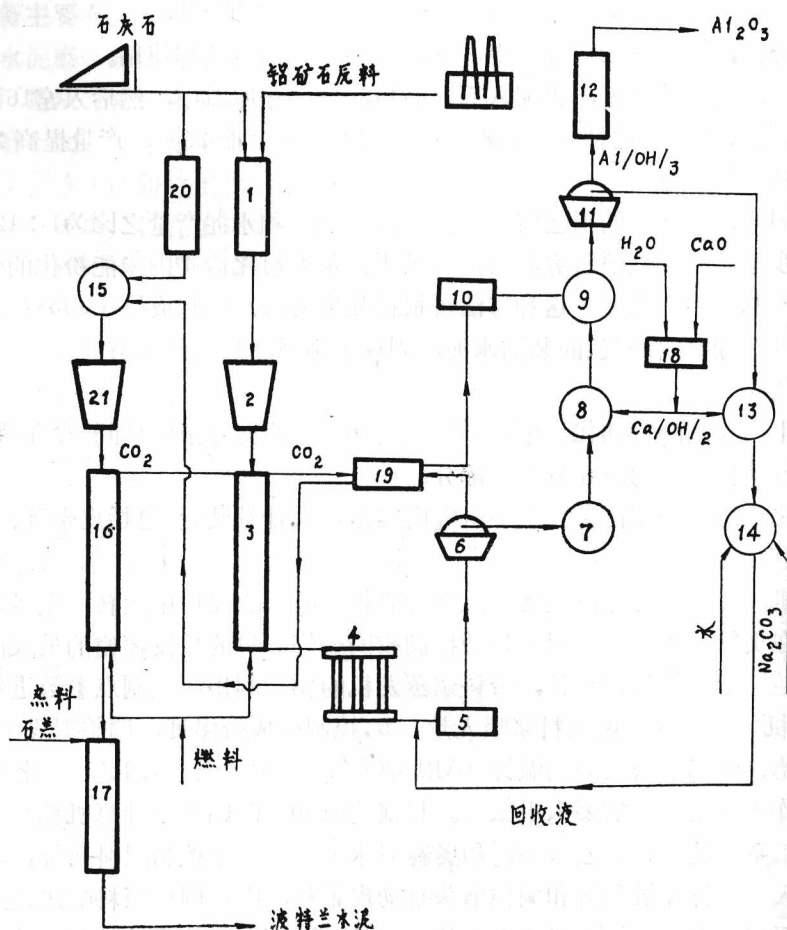
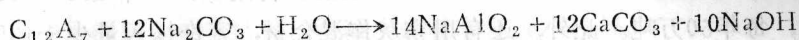
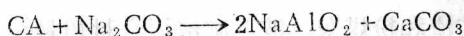


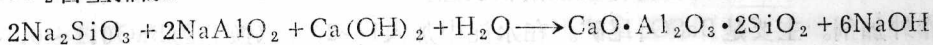
图9 生产 Al_2O_3 同时生产水泥的工艺流程图

波兰对原料综合利用也进行研究。目前波兰矿冶学院与胶凝建筑材料研究院正合作研究“利用低品位铝矿石生产 Al_2O_3 同时生产水泥”。其工艺流程如图 9 所示。用低品位铝矿石（最低 Al_2O_3 含量 30%）和石灰石（ $\text{CaO} > 50\%$ ）配料（按 $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 1.87$ ， $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3 = 1.6$ 计算），进磨 1 粉磨后，存于库 2 中，然后入窑 3 煅烧，生成含 $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 、 C_{12}A_7 和少量 CA 的烧块，在烧块自动粉化器 4 内的冷却过程中， $\beta\text{-C}_2\text{S}$ 发生晶形转变，成为 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ 而粉化，得到

细度为20微米，含有 γ - C_2S 、 $C_{12}A_7$ 和CA的细粉(原料中 Al_2O_3 越多，则细粉中 $C_{12}A_7$ 也越多)，再加热至98℃，加入碱(Na_2CO_3)，与 $C_{12}A_7$ 和CA反应生成 $NaAlO_2$ ：



然后在过滤分离器6过滤，滤渣A(以 γ - C_2S 为主)，去制造水泥， $NaAlO_2$ 浆加入 $Ca(OH)_2$ 使浆中 SiO_2 含量排除：



使 SiO_2 含量由原来0.1~0.2克/立升减到0.01克/立升，(制铝工业容许 SiO_2 含量0.02~0.03克/立升)，再通入 CO_2 ，反应生成 $Al(OH)_3$ 。



再经分离器11分离，进入窑12煅烧，得 Al_2O_3 产品。分离液循环使用。

上述滤渣A，经水洗排碱，再配入石灰石粉，搅拌存库21中，然后入窑16煅烧成水泥熟料(熟料中含碱约0.7%)。这种方法制水泥比普通方法可节能25%，产量提高25%。熟料加入石膏，在磨17磨制成水泥。

这种制铝同时生产水泥的工艺流程，其产品 Al_2O_3 和水泥产量之比为1:12。

为了进一步节能，波兰还研究将滤渣A烘干，加入粉化器4内未能粉化的烧块，再加适量石膏，直接磨制成装饰水泥。这种方法可根据强度要求，配制成抗拉40公斤/厘米²，耐压100~400公斤/厘米的各种颜色的装饰水泥，制成装饰板，用于建筑装饰。

4. 生产现代化

研究院对生产控制的自动化、生产环境和工作岗位的良好条件(即收尘和劳保)均进行研究。生产控制自动化方面的研究分为二部分：

(1) 自动化检测和控制设备。主要研究内容是自动计量装置(包括皮带秤、计量仓等)，各种感应片，电耳等。

(2) 计算机的应用研究。波兰现有三个计算机系统在水泥厂中运转，型号是T2000/20。其中一系统是在奥特兰水泥厂，用于自动控制窑的煅烧，目的是发挥窑的最大能力和达到最低热耗。奥特兰厂是产量350吨/日，带料浆蒸发机的窑。利用两控制点参数进行自动控制，A.控制出蒸发器气体温度，调整料浆喂入量。B.控制烧成带温度，调整喂煤量。测量烧成带温度是用西德、西门子公司的高温计(ARDOLCOL SIEMENS, F.R.G)。此种控制比较简单，但当窑操作不正常时，需要人工操作。目前约有90%时间电子计算机控制，10%时间人工操作。其余二系统是在古拉兹水泥厂和奥赛罗水泥厂，用于控制配料系统。就是用x 荧光分析结果，输入电子计算机配料和调控磨头自动皮带秤，以便调整原料配比，达到自动配料。

研究院正研究用电子计算机对大型干法窑(旋风予热器窑)的自动控制。其方案的主要控制参数：

A. 窑的转矩

B. 熟料立升重

以上二参数调整喂煤量

C. 废气 O_2 含量

D. 入窑物料温度

E. 生料石灰饱和系数

以上三参数调整喂料量

研究院还研究把分析、粉磨、煅烧三系统电子计算机联系起来, 进行程序控制。

在收尘和劳保方面的研究, 主要是收尘的方法和粉尘、噪音、有害物质对工人的影响。

(1) 收尘方面:

波兰对于工业的收尘是很重视的, 要求各工厂要有收尘设备。全国没有统一的收尘标准, 而是各行业根据具体情况, 制定出各行业的收尘标准。地方政府根据收尘标准进行监督, 超过标准要罚款, 若排放的粉尘是有害物质, 则在标准范围内也要交款0.2兹罗提/公斤粉尘。工厂每年要向地方政府提出两次排放情况报告, 并进行抽查。

波兰水泥工业均装有收尘设备, 但每年仍有45万吨粉尘跑掉, 占水泥产量的2%。水泥厂的收尘设备主要有三种: A. 电收尘, B. 布袋收尘, C. 旋风收尘。波兰有电收尘170台, 用于回转窑、水泥磨、矿渣烘干等设备上。这些电收尘主要是从西德瓦尔特公司和鲁茨公司引进的, 有二厂是从丹麦史密斯公司引进的。布袋收尘共有550台, 过滤面积达10万米², 用于水泥磨、煤磨车间、输送设备上。

波兰对布袋收尘的研究工作进行得较多, 在结构上、布袋材质上、自动控制上均进行研究, 并取得一些成果, 已在工厂中使用。此外还利用居里基金与美国合作进行收尘研究, 采用互相交流资料和互访形式(已合作十年)。目前在合作研究粉尘物化分析、粉尘成份、电性能和一些其他内容。

波兰布袋收尘所用布袋主要是合成纤维布袋, 它的寿命为棉布布袋的二倍, 可使用3年, 耐温140℃。目前也研究玻璃纤维布袋。

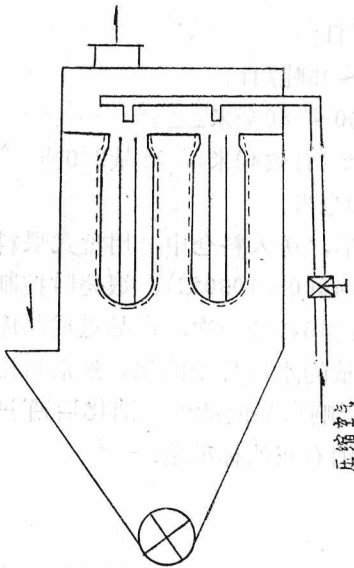


图10. 新布袋收尘示意图

波兰研究一种干法厂用的布袋收尘器, 已完成半工业试验, 其结构如图10所示。整个收尘器除卸灰轮转动外, 没有转动部份。布袋是用化学纤维毡布袋。布袋清灰是用6大气压的压缩空气轮流向每个袋吹风0.1~0.4秒, 把灰尘吹落。这种布袋收尘器的优点是: A. 过滤效率高, 过滤速度可达250米³/米²·分。(一般布袋收尘器过滤风速为100米³/米²·分)。因此体积小。B. 没有转动和震动, 所以布袋消耗量少。缺点: 声音大。

波兰篦冷机的收尘是用多筒旋风收尘器, 效果不好, 熟料颗粒对收尘器磨损利害, 使用寿命也短。现正研究颗粒层收尘。(据说捷克用西德的颗粒层收尘效果很好, 排气含尘浓度5毫克/米³)。冷却机的收尘在西方有新的研究, 基于利用金属纤维, 做成毡或织物, 有热强度, 温度可在500℃~700℃, 可作熟料收尘。在水泥厂使用情况是进口气体温度280℃, 含尘浓度35克/米³, 通过收尘后, 气体含尘浓度0.019克/

米³。过滤风速180米³/米²·分。

波兰收尘研究和经验认为: 将气体过滤是最好的收尘方法。