

建材情报资料

总第8121号

水泥类 1

国际水泥技术区域间 学术讨论会

(1980年10月于北京)

讨论发言汇编

建材部技术情报标准研究所

一九八一年八月



编 者 的 话

1980年10月，联合国工发组织与我国政府在北京联合举办了“国际水泥技术区域间学术讨论会”。我所已将外国代表的20篇论文编译成专集出版。现应读者要求将代表们在讨论会上的发言汇编成册，作为会议论文专集的补充，以供参考。

讨论会上代表们的发言不少是在正式论文中没有或很少介绍的经验和体会，有些是颇有参考价值的。答问发言往往超出了原宣读论文的内容范围，故难于按原论文题旨归纳整理，仅能按发言顺序译编成文，未能分立小标题来列述，请读者鉴谅。

本发言汇编由我所陈莲英根据录音翻译编纂，李景星、丁抗生技术审校。

译文忠实于录音记载，主要技术内容无遗漏，但未经原发言者审定，希读者注意。编审者水平有限，内容若有谬误，尚请识者教正。

1980年10月，联合国工业发展组织与我国政府在北京举办了“国际水泥技术区域间学术讨论会”。参加会议的有来自亚洲、欧洲和非洲的比利时、缅甸、中国、丹麦、埃塞俄比亚、法国、德意志联邦共和国、印度、黎巴嫩、利比亚、马来西亚、尼泊尔、菲律宾、索马里、泰国、土耳其、赞比亚等17个国家的50多名代表和列席代表。讨论会共宣读了28篇论文，其中8篇由中国代表提出。会议期间，代表们进行了热烈的讨论。现将讨论内容和问答按顺序整理如下：

西德克拉特：年产20万吨以下的水泥厂，最好建立窑。但根据西德的经验，建一个有四座立窑的厂所需的钢可与有一台回转窑的水泥厂相比，但后者总投资费用要比立窑厂少得多。我认为，如果你有能力建年产24万吨的水泥厂，那就应建回转窑，而不应建立窑。一般来说建4台立窑相当于一台回转窑。在西德，97%的水泥窑为干法窑，其中有两台干法长窑，有27台窑外分解窑。西德仍有17台立窑。

1979年西德水泥生产的平均热耗是746千卡/公斤熟料，电耗是101度/吨水泥，平均每人每年生产水泥2669吨，生产1吨水泥需30分钟。

关于中国代表谈到的差热煅烧问题，我认为边部料球的含煤量（每公斤熟料1100大卡）看来太高，其原因可能是边部通风太大，胴体的热损失太高。风机的马达功率215千瓦也偏高，在西德通常只要90~95千瓦就行了。关于黑生料的细度问题，我认为，当生料研磨过细时，黑生料里的煤的细度也会过细，这样一氧化碳损失也就相应提高，这就是为什么你们使用包壳料球法以便阻止一氧化碳损失过高。同时，也可以使料球在进入烧成带之前顺利通过700~800℃的“危险区”。当然，如果生料研磨过粗时，生料里的煤粉也就过粗，我们就会发现球中心有红核状。采用黑生料法，当你从窑里取出半个料球进行观察时，你会发现，料球最外层是熟料，逐渐向球中心过渡呈黄色，球中心仍然是黑生料。采用白生料法，当你在白生料中加入粗煤粉进行煅烧时，会发现熟料在形成过程中是从料球中心向外逐步形成熟料。关于包壳料球法我们在欧洲一些国家也曾做过试验，但还没有取得明显的成功，虽然能够节约5%的热量，但还有很多机械方面的问题有待解决，因此，我们停止了包壳料球法生产。事实上，白生料的包壳法和黑生料法都要有不同的石灰饱和系数，因此要设有单独的料仓，这样，要增加设备投资和维修费用。我很高兴地看到中国在包壳料球法生产水泥中做出了很大的成绩。西德设计的立窑其高径比为3.3。低于这个值会造成熟料冷却效果不好，使 C_3S 分解成 C_2S ，再次出现游离氧化钙。

为了使料球具备正常的性能，使料球保持湿润状态和早期强度，里边需要加一些增塑剂以代替粘土。因为生料里边煤的灰份很高，不容易粘接，可以加一些粘接剂，中国在成球过程中是否遇到问题？是否也加一些粘接剂？

中国秦志刚：目前没有发生过什么问题。大的立窑厂（年产6万吨）可能对料球质量更敏感，需要进一步调查，但是迄今为止没有使用过粘接剂来促使成球。

埃塞俄比亚孔萨：马来西亚每吨水泥售价多少？

马来西亚默罕麦德：每吨水泥成本费80元（马来西亚币）。水泥销售价格由政府控制，每吨水泥出厂价为130元（马来西亚币）水泥的年平均增度率为10%。

中国朱祖培：印度有多少湿法窑？你们准备对湿法窑做些什么改进？

印度芒特：在印度的水泥厂中有70%是湿法窑，30%是干法窑。我们想把湿法窑改成干法窑，但没有成功，因为建厂方式和原料等都有问题。根据我们的能力，可将10~15%的湿

法窑改成干法窑。改建的干法窑主要以回转窑为主。

丹麦埃格索：现在印度正在建日产1000吨~2000吨的窑外分解窑。在印度的阿巴托正在建一台日产3200吨的窑外分解窑。

赞比亚伦古：根据中国代表的发言，试问水泥窑胴体的水冷却能延长窑衬的寿命吗？

中国朱祖培：据信，水冷却会降低窑衬的内表面温度，确保或使窑皮更牢固地挂在窑衬上。在中国，烧成带窑衬的寿命在6个月左右。

法国马立克：中国水泥厂和研究单位之间交换经验和技术秘密的情况如何？

中国朱祖培：在中国，每年举行地区或全国技术讨论会交流经验，讨论会一般由建材部主持或组织。

丹麦埃格索：据说，高炉矿渣被用作生料的掺和料。这种成份在生产过程中有没有造成具体问题？

中国朱祖培：在生料中掺加矿渣是有问题的，现在用这种方法的仅有很少几家。绝大多数矿渣用作熟料的掺和料。

印度芒特：既然中国并不缺少优质煤，为什么还在水泥生产中使用褐煤？褐煤可以用来生产沥青或供暖。

中国黄锦扬：在华西，煤的资源分布不均匀，在有些边远地区，象云南省就缺少烟煤，而褐煤却相当丰富。如果当地水泥厂使用烟煤，运输距离就会超过500公里，由于运输条件差，所以对工厂来说是无利可图的，开远水泥厂的实践经验证明，使用当地就有而又便宜的褐煤可以取得更好的经济效果。

法国马立克：用褐煤烧水泥，原料里的灰份将比较高，你们中国一般水泥里含灰份是多少？

中国黄锦扬：灰份不太高，最高含量是百分之十七。

丹麦埃格索：你们讲褐煤的热值在2800大卡以下，这种热值是否是在褐煤含水量为40%的情况下的热值？

中国黄锦扬：2800大卡是应用值。

丹麦埃格索：我对刚才徐秉德先生的发言有不同的看法，关于烧煤的窑外分解炉，我认为事情并不象你们认为的那么复杂，我并不认为煤的粒度或煤的质量象你们提的那么重要。只有把煤完全烧尽的滞留时间是重要的。我们丹麦已向外国建了相当数量的窑外分解窑。其中至少有12~15个窑外分解窑是烧煤的。分解炉里物料停留时间是比较准确的，煤的燃烧也是很完全的。我们没有发现由于煤粉的细度而发生问题。而且也没有发现由于煤的质量而引起故障。窑外分解的一个重要特点是可以使用质量很低劣的煤用于分解炉内，而不至于发生什么问题。近几个月来，马来西亚正在建成一个采用劣质煤用于窑外分解的水泥厂。这个水泥厂可以用含99%石灰石的生料送进予热器，并使用劣质煤或油页岩用于分解炉内。顺便我想问一下，中国现在是否已经有窑外分解窑在进行生产？

中国徐秉德：中国现在有一座烧煤的窑外分解窑在运转。

土耳其亚格兹：请问一下煤的质量问题。中国使用的煤的一般含水量是多少？煤的含硫量是多少？生料中的碱含量是多少？

中国徐秉德：碱含量大约为1%，氧含量在0.002~0.005%之间，硫含量低于平常允许值。

印度芒特： 贵国安装了烧煤的窑外分解系统以后，水泥产量增长了多少？

中国徐秉德： 水泥产量大约增长了一倍。另外，请问埃格索先生，您认为用于分解炉的煤的细度最好是多少？

丹麦埃格索： 虽然已经证明细度并不是非常重要的，但通常我们喂入水泥窑和分解炉的煤的细度相同。分解炉的设计通常是保证气体的停留时间为2.2秒到2.5秒之间。固体粒子的停留时间在6~8秒之间。但是，万一在煤的颗粒外积累起三氧化硫气体，而且产生局部的还原气氛时，就有理由要把煤磨得更细一些。

中国徐秉德： 要是用劣质煤，如何才能保证分解炉内足够高的温度？

丹麦埃格索： 在这种情况下，我们建议在分解炉里加一点燃料油，约10%左右。

中国徐秉德： 在恩克加德的论文里，我们注意到有可能在水泥窑下部的立管里加入块煤，能不能做到这一点，而又不会影响熟料的质量呢？

丹麦埃格索： 是的，这种不同异常的做法会给熟料的均匀性带来问题。但是在巴西使用这种方法已经有两年的时间了，这种方法并不是节省能源的办法。相反，有可能加大热耗。但是巴西为什么采用这种方法呢？理由很简单，因为巴西是个使用燃料油进行生产的国家，有时水泥厂用的燃油突然供应中断，而在这种情况下，煤磨还没有形成生产能力，所以就采用水泥窑下部立管里加块煤的办法，使生产能继续下去。毫无疑问，一旦他们具备了煤磨的生产能力以后，上述办法就会放弃的。

中国代表： 收尘的问题和爆炸的危险对大规模处理煤粉的人来说是一个非常令人关心的问题，在这方法，埃格索先生，您对新使用新的电收尘器作何评价？近几年来，这些收尘器有无任何改进？

丹麦埃格索： 我们第一台电收尘器是1958年安装的，是圆形的，还达不到今天所取得的效率。现代化的电收尘效率更高，采用了一系列安全措施，温度低，露点高。收尘器的设计几乎排除了收尘器内沉积的煤粉点火燃烧的危险。另外，二次加热系统使收尘器内最低温度保持在50℃，以避免潮湿的粉尘粘接在电极上。就我所知，还没有发生过爆炸，但也出现过几次小的火灾。一种可靠的爆炸警报系统在实际看来并不可能实现。

赞比亚伦古： 埃格索先生，关于煤磨的问题，是采用直接喂煤系统还是间接喂煤系统，如果采用间接喂煤系统，说明在煤磨与窑之间要有个中间仓，这样中间仓上面要有个煤粉分离器，分离器上面是否安有收尘器？当中间仓煤粉满了以后怎样？

丹麦埃格索： 当仓内煤粉堆满后，将磨机暂停。我认为在使用立磨时，应当安有收尘器，至少是为了排放过剩空气而使用。因为立磨中约有35%的一次风。另外，当煤粉过份干燥时，也可以使这些空气进行再循环，以便使煤得到水份。一般立磨制造厂家都喜欢使用空气再循环，但不能在磨盘下面循环，因为磨盘下面经常出现煤粉聚集的危险，所以当磨机停止时，容易发生起火爆炸。所以在目前比较经济的立磨中，一般是将一次风使用一部分，而将另一部分通过收尘器放掉。

赞比亚伦古： 采用什么类型的收尘器好？

丹麦埃格索： 可以是袋式收尘器也可以是电收尘器，但目前这两种收尘器都还没有得出较理想的结论。两种收尘器都有可能引起火灾的危险。如果你使用袋式收尘器，你必须使温度保持在露点与燃点之间较大范围之中，否则将出现问题，可能起火。我认为，使用电收尘器要灵活一些。

中国秦志刚：埃格索先生，您对水泥生产中使用劣质煤有何看法？

丹麦埃格索：今天听中国先生介绍，你们用100%的褐煤来烧水泥，其发热量为2800大卡，这是一个比较特殊的情况，大概你们的石灰石容易煅烧。因为这样低的热值在正常操作下是不可行的。我认为煤的最低热值应在4000大卡/公斤左右。

中国秦志刚：如果加入油后，其混合燃料最低值应是多少？

丹麦埃格索：很难说，但我认为混合燃料最低值应为4500大卡/公斤燃料。

印度芒特：埃格索先生，采用带分解炉的悬浮予热器窑后，其火焰长度将延长一倍，是不是？

丹麦埃格索：是的，带窑外分解的悬浮予热器窑与SP窑相比，其火焰长度将相应的延长。但在小型的窑外分解窑上，其火焰长度与一般普通直径为5~6米窑的火焰长度基本是一样的。当然，一般来说，窑越大，其燃烧带也就越长。在窑外分解窑中，一般是火焰长度较长，而温度较低。

中国徐秉德：为了降低予热器出口的温度，您是否考虑加上5级悬风筒呢？

丹麦埃格索：就目前来说，我们还没有使用5级悬浮予热器。可能西德的波利鸠斯公司和日本的某些公司有所进展，但进展很小。我们曾做过一些计算和统计，如果使用5级悬浮预热器器的话，可能会节省25大卡的热量，但我们感到担心的是，在四级悬浮予热器窑上，一般底部旋风筒的温度为820℃，在3级旋风筒上，其温度为700℃左右。在这两级旋风筒之间温度为730℃~780℃左右。如果采用5级悬浮预热器窑，那么在4级旋风筒上的温度将为750℃左右这个温度是比较危险的，因为它能重新发生碳化反应。另外游离氧化钙增多，这也是避免不了的，这就使气体中的CO₂和增多的游离氧化钙结合起来，又重新形成了碳酸钙。由于4级旋风筒的效率低，在3级旋风筒中的温度可达到730~740℃左右，这是很危险的，这就需要改进对4级旋风筒的收尘效率，及便降低3级旋风筒的温度，我想这就是为什么目前大多不采用5级悬浮予热器的原因。

中国黄锦扬：克拉特先生，西德目前还有多少台立窑？产量多大？

西德克拉特：西德目前有两个水泥厂共十三台立窑，早在1950年时，西德还有137座立窑，生产的水泥占水泥总产量的15%。到了1975年立窑减少到30座，占水泥产量的8%，到1979年只剩下两家水泥厂，13台立窑了。到目前为止，我认为西德不会再建日产水泥熟料2500吨以下的水泥窑了。西德水泥价格是由政府控制的，每吨水泥价格是80马克(西德马克)。另外，由于工资和燃料价格昂贵，也不适宜再发展小型水泥厂。我们知道，水泥日产量越高，成本也就越低，这就是为什么多数立窑停产的原因。这种现象不仅是西德，就是在其它工业国家也是一样，如：法国、西班牙、意大利、美国、日本等。

比利时詹森：是否有必要在料球中含有14~18%的水份？

西德克拉特：料球的水份取决于水泥生料和燃料的物理性能和特性。在成球盘制球过程中需要喷一定量的水，以超过塑性料球所需水份的1~2%。成球时，料球要均匀。球直径一般为50毫米，标准偏差为±10%。要求料球在经过予热带时不应破碎。我们用的立窑一般直径为1~3.3米，高为10米，窑内总的压力降为2000毫米水柱。料球内一般应含水份14%左右。

中国黄锦扬：年产6万吨以下的立窑厂在经济上可行吗？

西德克拉特：年产6万吨的水泥厂其投资将用1600万美元。年产不足6万吨熟料的立窑

厂是否可行取决于不同参数。如果不管其地点在何处这种厂的安装费用一样，然而工资、燃料和电费，各地均不相同。比如：西德工资相当高，占生产成本的40%以上。而在尼泊尔和印度其工资只占生产成本的5.5%和3.6%。西德的燃料费用占生产成本的20%，而在苏丹和印度则各占36%和12%。在政府控制水泥价格的国家里，比如在印度，即使水泥厂年产在6万吨，经济上也不合算。而在水泥必须长途运输的国家里，比如，印度尼西亚、巴西或尼泊尔，建年产6万吨的水泥厂是可行的。

中国李明豫：克拉特先生，您认为白生料法和黑生料法的根本区别是什么？生料中具体加多少煤？

西德克拉特：白生料法，粒度为1~10毫米的固体燃料，如焦炭或煤在制球前就和水泥生料按比例配料，煤的灰份并不百分之百地和原料发生反应。而黑生料法(最好是与燃料混合磨)。固体燃料和水泥生料一起喂入生料磨。因此，煤本身(特别是它的灰份)应被看成是一种原料，生料成份要作相应的调整。关于正确的加煤量，我们只用称量喂料机，就是说用重量控制而不是容量控制，容量控制并不准确，每天还要检查水分和固定碳含量。

中国李明豫：立窑水泥厂里，在低温情况下电收尘能否工作？

西德克拉特：正如刚才埃格索先生提到的，电收尘以前的废气温度至少要高出露点15~20℃。立窑厂的废气温度通常在70~90℃，露点在65℃左右。我们在电收尘以前的废气温度是85℃。如需要，在废气进入电收尘以前我们安装了辅助炉，对废气加热。根据我们在西班牙和奥地利的经验，带电收尘的立窑厂额外的燃料消耗为每公斤熟料约30~50大卡。也就是说，使用电收尘后，窑内烧结煤量加大，废气温度也就略高(约80~90℃)，如果停窑几小时，对电收尘必须加热，以避免电收尘器里的钢板和电晕丝产生冷凝。

中国李明豫：在过去的二十五年里，您认为对立窑进行了哪些改进？

西德克拉特：除了黑生料法外，在以下方面进行了改进：

- (1) 用成球盘代替压机或混合绞刀；
- (2) 用罗茨风机代替排风扇；
- (3) 窑胴体隔热保温；
- (4) 液压卸料闸门；
- (5) 在烧成带上方有一个锥形带；
- (6) 用锥形篦子(塔式篦子)替代水平篦子或辊式卸料篦子；
- (7) 立窑由闭路主齿轮箱传动，主轴带联轴节，可以提起全部窑内物料，取下齿轮箱进行修理，而无须从上边把窑出空；
- (8) 改进窑胴体的隔热保温性能，以及改进回转溜子，液压操作提升装置等。

菲律宾费尔南多：关于老厂改造问题，埃格索先生，您认为产量至少增加多少才值得改造？

丹麦埃格索：我认为把一座湿法长窑改成不带予热器的干法长窑是不合算的。如果把一座湿法长窑改成二级予热器窑，其产量只能增加25~30%，如果把一台湿法长窑改成带窑外分解的四级悬浮予热器窑，其产量可能会增加一倍，也就是说，可能会增加100~150%。但是，在这种情况下，总还会遇到一些设备的极限能力问题，如：熟料冷却机，生料磨的生产能力等，因此，我认为将湿法窑改成干法窑是不太合算的。

中国徐秉德：埃格索先生，原料予均化后，生料空气搅拌是否取消了？

丹麦埃格索：即使予均化效果很好，但不管怎样，在入窑之前，生料从生料磨出来以后还必须均化。生料仓是必要的。生料仓不仅仅是起到一种生料均化作用，它还在窑磨之间起到一种缓冲作用。我们不主张去掉生料仓。

赞比亚伦古：埃格索先生，从湿法改干法，多大产量与规模您认为最合适？

丹麦埃格索：这个问题很难回答，这要百分之百的取决于当地条件。一般来说，把湿法改成干法并不合算。但是，如果你要用干法生产来提高水泥产量的话，当你考虑要建一条新的生产线时，无论如何，生料磨的能力就要扩大，多余的生料可用于旧窑。只有这样，才能有利。芬兰最近成功的做了这样的改造。他们买了一台大型生料磨，因此将该厂的一条旧湿法窑改成了二级悬浮予热器窑，后来又改换了冷却机。这样，他们有了两条干法窑，其中的一台是将过去的湿法窑由喂料浆改成喂生料进窑。这是一个很简单的改造方法，但要根据具体条件而定。我很抱歉，我说不出究竟窑的尺寸多大是适宜的。

中国朱祖培：埃格索先生，您有没有关于料浆喷雾干燥的情况介绍？

格麦埃格索：几年前，在湿法窑上也使用过喷雾干燥器。在使用喷雾干燥器时，实际上并不能节约多少热量。出喷雾烘干机的废气温度约为140~150℃，出湿法长窑的废气温度约为160~170℃。当然，目前也仍然有一些湿法窑带有喷雾烘干。其目的是提高湿法窑的产量。用同样的方法也可改成窑外分解窑。目前就我所知，只有2~3台湿法窑装有喷雾干燥装置，而且窑的日产量少于500吨熟料。如果你想增加产量的话，那么喷雾烘干机的规模就要相应的加大。这样就更复杂了。

中国杨大华：滤并破碎烘干设备有无堵塞或粘结问题？

丹麦奥利弗：目前而言，我们公司还没有制造压滤器，我建议你们应当和一些生产过滤器的厂家进行联系，法国一家公司很有点名气。

丹麦埃格索：关于烘干设备种类很多。你们可以使用快速烘干机和转筒式烘干机。我们也发展了一种烘干机，曾试用过滤并，但主要用于破碎粘土。就烘干机本身来说，不出现粘结现象。但是，对于某些塑性高的原料来说，这种料的人料口有可能堵塞，因此，入料口的钢板需要加热。

中国童三多：在法国，采用什么设备粉磨粉煤灰？

法国马立克：通常粉煤灰不需要予粉磨，但是因为它的化学成份和物理性能必须一致，研磨必须到一定的粒度。粉煤灰从电收尘出来后，先放置露天，然后送入料仓进行混合，并使用准确称量的喂料系统喂入磨机。在法国，对水泥强度规定得很严格，因此，对粉煤灰的掺加量和确切成份需要完全加以控制。

中国童三多：是否将粉煤灰和水泥一起粉磨？

法国马立克：我是说，粉煤灰就像是助磨剂一样，如果你向磨里喂入30%的粉煤灰，就不再需要向磨里喂入任何助磨剂了。因为磨内物料流动很快，流动性很好。如果单独磨波特兰水泥就不这么容易。而磨粉煤灰水泥就不会出现困难。

联合国雷登：如果用水泥磨研磨水泥，比如台时产量50吨，一般情况下，磨内钢球容易粘结。如果你加入粉煤灰以后，磨内流动性好，钢球不易粘结，这样还可以提高磨机产量，同时也是废渣利用，这是非常经济的。

埃塞俄比亚孔萨：马立克先生，使用粉煤灰时水泥是否维持同样细度？

法国马立克：通常水泥要磨得细一些，以获取足够的早期强度。

中国朱祖培：湿的粉煤灰通常很难干燥，这种煤灰是用做原料呢？还是用做掺合材？这种半干燥的粉煤灰一般不能用做掺合材，也只能用做原料。

法国马立克：是的，这种潮湿的粉煤灰只能用在湿法生产中，而且是用做原料。这样，一方面可使原料中水份含量减少，另一方面也降低了热耗。

印度芒特：马立克先生，在使用粉煤灰方面有什么限制？

法国马立克：是的，粉煤灰的运输费以及混合水泥的早期强度（1~2天强度）相对来说较低，给粉煤灰的应用带来了一些限制。

印度芒特：您是否能谈谈关于炉渣的使用问题？

法国马立克：这是一个大家都很感兴趣的问题。炉渣与粉煤灰的组份基本相似，由于没有经过水淬，所以没有活性。故需要研磨到很细的细度，使其活化，但这很费钱。另外，粉煤灰形成球状，具有水泥和混凝土所要求的特性，而炉渣不具备这点。

西德克拉特：一般用于水泥的粉煤灰的含碳量是多少？（一些老的发电厂粉煤灰的含碳量可达10~15%）。含碳量有无限制？在一些立窑中，经常出现熟料中的碳没经过充分燃烧，用这种熟料制成的混凝土其颜色是黑的，这样就失去了许多买主。

法国马立克：粉煤灰中的含碳量是有限制的。在我个人看来，含碳量在5%左右是合理的。但迄今为止尚没有对这种成份订出任何限制。

丹麦埃格索：在丹麦有一家水泥厂，二年来一直是采用向湿法窑里喷粉煤灰的技术，但这种方法也只能增加熟料产量12~13%。马立克先生，你们法国对类似的试验有何经验？

法国马立克：我们有这方面的经验。

中国童三多：除去加入铝酸钠以外，有没有其它方法可以提高粉煤灰水泥的早期强度？

法国马立克：这个问题并不复杂，主要取决于温度，如果粉煤灰水泥的温度为10℃，那么强度也就随之提高。因此，要想提高粉煤灰水泥的早期强度，温度是起决定作用的。

土耳其亚格兹：在土耳其东南部，我们有相当贮量的劣质煤，并计划在此地建一电厂。电厂基建已经开始。根据实验室数据得知，该电厂粉煤灰的组份接近于水泥生料的组份，只是稍加调整就可使用。所以我们计划将这种电厂的粉煤灰直接喂入水泥窑内，这样可以节约能耗。我听说法国也有相同的例子，你们是否有这方面的经验？

法国马立克：是的，在法国我们有类似的事例，但这不是一个很简单的问题。因为，电厂出来的粉煤灰往往含硫量很高，这会危及生产出来的水泥的膨胀性能。但是钙成份在粉煤灰中是作为硅酸盐而不是碳酸盐出现的。这样，从理论上讲，窑内的温度就低一些。因此，就可节省很多能量。粉煤灰具有水硬性，可作为水硬性胶凝材料。制备方法简便，只要将其进行研磨，作为胶凝材料可用于筑路，修大坝等。对人体无害。

西德克拉特：我们发现电收尘确实解决收尘这一个问题，但是另一个问题又出现了。电收尘器收下来的窑灰又怎样处理呢？窑灰中碱含量很高，堆在地面会造成地面水污染，有没有什么好方法处理这全窑灰。是否可以制成球或制成片剂作为肥料出售，或是磨细出售给玻璃厂？但窑灰中氧化铁含较高，又不能生产白玻璃。在座的各位朋友是否有好的见解？

法国格罗斯曼琼：在法国，我们总是把这些窑灰重新喂入窑内。这和美国不一样。在法国规范中，没有对碱含量作出限制性规定。

印度芒特：我想在控制环境污染方面提出很不成熟的看法。在水泥厂中，为了使空气中的二氧化碳重新变成氧气，能否在水泥厂周围种上树等植物？

法国马立克：我认为，从燃料里来的二氧化碳比从石灰石分解过程中生成的二氧化碳要少得多，因此，你刚才谈的方法不能解决这个问题。

埃塞俄比亚孔萨：关于环保和控制污染等问题目前在工业化国家已经越来越受到重视，但还没有非常严格的有关污染控制的规定。我的问题是，我们非洲工业并不发达，但我们是不是一定要根据欧洲规定的标准，买些昂贵的设备，以便达到实行最高水平的污染控制规定？

法国格罗斯曼琼：在发展中国家随着工业化的发展进程，逐步的实行污染控制看来是合理的。但我认为，许多国家马上实行最高水平的污染控制是不可能的。

土耳其亚格兹：土耳其水泥工业是从50年代早期开始发展起来的。那时候没有什么污染可谈，当时人们都希望水泥厂能建在城市附近。随着时间的推移，水泥厂不断的增加，人们也开始抱怨起来了。同时，由于大量的粉尘出现，人们对水泥厂厂址的选择要求很严格，在土耳其，水泥厂厂址的选择首先要符合政府当局的要求。不允许把水泥厂建在森林区或沿海附近，也不能建在离农田很近的地方，更不能建在人口过密的城市里。我建议我的埃塞俄比亚同事对这些问题应引起注意，否则你就不能不花钱买些昂贵的机械设备来消除粉尘或是把水泥厂迁走。

法国马立克：孔萨先生，埃塞俄比亚每吨石灰的价格是多少？

埃塞俄比亚孔萨：每吨石灰的价格为32美元。

印度芒特：中国火山灰水泥的产量有多少？

中国童三多：1979年的产量为38万吨。

西德克拉特：西德每年火山灰水泥的产量为15万吨，占水泥总产量的0.4~0.3%。你们中国是否对立窑生产的水泥和回转窑生产的水泥加入同样的火山灰，其性能有无差别？因为回转窑生产的水泥几乎没有游离石灰，而立窑生产出的水泥游离石灰较高。因此，当研磨时容易生成氢氧化钙。

中国童三多：没有，在所用的水泥当中没有发现什么不同。

西德克拉特：当细度和比表面积相同时的抗压强度有无变化？

中国童三多：没有明显的变化。

埃塞俄比亚孔萨：你们通常是把火山灰材料和水泥放在一起粉磨还是单独粉磨？

中国童三多：通常把这两种成份放在一起磨。

西德克拉特：在西班牙我们做了一些试验，将水泥和火山灰材料分别加以粉磨，粉磨的水泥细度为勃氏比表面积3200厘米²/克，火山灰研磨后烘干，其细度为过90目筛，筛余25%。然后，称重后将70份水泥和30份火山灰混合均化，进行试验，我们发现其2天，7天，28天强度是一样的。但是分开粉磨所需的电耗要比混合粉磨所需电耗高，所以我们一般不主张分开粉磨。

中国童三多：我们也做过这方面的试验，将熟料和叶沸石分开粉磨。这种分别研磨制成的水泥其早期强度要比混合粉磨水泥所获早期强度高，但是电耗也相应地增加了。

西德克拉特：关于立窑使用的黑生料球，其料球的孔隙率应为30%，料球里的水份应在予热带进行蒸发，而不应出现破碎现象。当料球进入燃烧带时，这种孔隙还应保留在料球里。所以，生料的细度是有一定限度的。这不仅仅适用于立窑，而且适用于立波尔窑。如果提高生料的细度，那么料球的孔隙率将下降，料球容易破碎。根据我们两个水泥厂的经验所

得，我们不得不把生料磨得粗一些，目的是使料球稳定。当然，这样可能使熟料中增加2~3%的游离氧化钙，但对以后的水泥膨胀不会造成很大的影响。这是因为当熟料进入水泥磨后，游离氧化钙很快会转化为氢氧化钙。

中国代表：罗德先生，熟料里的硫酸盐是否会加速熟料反应？

丹麦罗德：在窑的烧成带，熟料里的硫化物会生成非混合的液相，由于数量很少，不会给熟料反应带来重大影响。

中国方润：罗德先生，立窑熟料中游离氧化钙含量相当高，就我们所知是由于立窑冷却相当慢，A矿 C_3S 会发生反应分解成 $C_2S + CaO$ 造成的。有什么办法可以避免这种分解吗？

丹麦罗德：我知道有一本1960年出版的著作，谈到了A矿的分解反应。熟料中的游离氧化钙总是存在的，我的看法是立窑应尽快冷却以避免分解。在回转窑中，冷却速度不会导致 C_3S 分解成 C_2S 。只是在非常慢的冷却速度下才会出现 C_3S 的分解。但也还存在着分解的可能性，例如在窑内的还原气氛中，A矿的分解倾向将加剧。不过我们用显微镜检查可以清楚地区别游离氧化钙是原生矿还是次生矿。

丹麦埃格索：在很多欧洲国家的水泥厂里，生产出的熟料其游离氧化钙一般在0.2~0.3%左右。因为回转窑中冷却速度很快， C_3S 不容易分解。但假如窑内出现还原气氛时，如果没有足够的过剩空气，那么很难得到较低游离氧化钙的熟料。同时，也导致在燃烧区出现低火焰温度。关于熟料中硫酸钾含量问题，我认为熟料中硫酸钾含量越高，其早期强度越高，而后期强度就要低，如果通过强度增长曲线来看，7天强度主要受碱的硫酸盐的影响。

土耳其亚格兹：您的显微技术是否能控制或检查冷却状况？

丹麦罗德：是的，熟料的冷却速度由液相的微观结构体现出来，熟料冷却很慢的话，通常由 C_3A 和 C_4AF 组成的相很粗糙。关于冷却情况的进一步细节可以从A矿和液相间的界面形状获得。

法国马立克：罗德先生，您是否有可能说清楚熟料的光学外观和水泥的物理性能之间的关系？您是否有这方面的经验？

丹麦罗德：我没有具体经验，当然，如果熟料中的 C_3S 很高的话，研磨起来是比较费劲的，会使早期强度降低，从光学角度来看，孔隙率也很重要，如果孔隙率较低，水泥磨中也会出现麻烦。在我们的研究工作中，通常我们使用蚀刻试样，并不取决于熟料矿物本身的光学特性。当然，形状、晶相和液相都是很重要的。

中国高世雄：罗德先生，您认为是否有可能在比现在采用的温度低得多的情况下生成水泥？

丹麦罗德：这不可能，因为水泥中必须含 C_3S 。这样温度就必须高于1300℃。熟料反应不会在固相中进行，只有当出现液相时才能进行。这种温度是水泥矿物稳定的极限。在苏联最近发表的一份调查报告中，声称在1100℃利用盐类做为液相，成功地生产出水泥。但是，这些水泥很可能不含 C_3S ，而是带 C_2S 组分的氯化物。

法国马立克：苏联确实在研究一种新品种，叫做阿里尼特，这种新产品有很高的水硬性。含有氯化物，可以进行低温合成。但不适用于钢筋混凝土。

印度芒特：詹森先生，您能告诉我们袋式收尘器所用的过滤材料？

比利时詹森：有两种常用的材料，即针毡和玻璃。针毡滤布具有密度高，透气性强，对小颗粒过滤效果好。如果要对高温气体除尘，使用玻纤袋子就比较方便。但是玻纤袋子机械

稳定性要差一些，因此它们的清理就更难处理。

西德克拉特：在立窑厂里安装旋风收尘器并不是一个好的办法。因为细小的粉尘颗粒会跑掉。窑点火的头几分钟，在旋风收尘器里会产生冷凝。因为废气的露点很低（约60~65℃），如果煤里有硫，就会产生 H_2SO_4 （硫酸），并且腐蚀旋风筒。有些硫酸盐很易吸潮，这样在旋风筒卸料口会结块。这些盐类还会粘结在风机的叶片上，必须每星期清洗两次。我认为，砂粒层过滤器和湿法粉尘收尘器不应用在立窑上。立窑最好选用电收尘器。在西班牙我们有一个立窑厂，其电收尘器的电耗是0.15度/吨熟料。如果包括收尘器后面的排风机的话的其总耗电量为0.5度/吨熟料。由于风速慢，湿度大，电收尘会收到很好的使用效果。一般来说，有必要再安装一个加热炉，以保持进电收尘的温度高出露点15℃。如果废气温度超过80~85℃的话加热炉可以不用。电收尘的安装费用是机械和电气设备价格的6%左右。年产6万吨的水泥厂安装电收尘设备需要投资37万5千美元。这种电收尘的设计其空气流量应为30,000立米/时，如果在第二条窑安装风量为60,000立米/时的收尘器时，其投资只需40万美元。当然，如果使用水泥制成的混凝土壳体，其价格还要低一些。总而言之，我认为电收尘器用在立窑上是最好的方法。

丹麦埃格索：克拉特先生，您是否认为废气里一氧化硫含量高会引起电收尘的爆炸？

西德克拉特：根据规章制度，我们安装了一氧化碳监测器。废气中的一氧化碳是有毒气体。我们必须安装报警器，当废气中的一氧化碳含量超过5%时，电收尘器要停止工作，这时旁路放风将自动打开，这是通过一个自动放风阀门打开的。在我们的实践过程中没有出现过什么大问题或事故。我不知道立窑上是否会发生爆炸。但要注意一个问题就是在停窑后要对电收尘器进行检查并清理，将留下的灰尘清除掉，特别是电收尘器底部粉尘要清除掉。

中国高世雄：中国的常州水泥厂装有玻璃纤维袋式收尘器。其能力是6万~7万立米/时，而且这种收尘器的收尘效果非常成功。

中国朱培培：埃格索先生，关于Fuzzy控制系统是商业性质的吗？

丹麦埃格索：是的。我们已经在丹麦一个水泥厂使用于将近二年了。我们也有信心这种控制系统如果能控制湿法窑的话那么在中法熟料干燥器使用就更简单了。湿法窑的复杂性就在于里面有链条系统，链条系统要平衡干燥带和链条之间的相互关系。而对于干法窑来说，基本上就是控制干燥带的情况。所以我们在短时间内设计出了Fuzzy控制装置。我们在美国和土耳其的年产30万吨的水泥厂里试用过，在西班牙和阿尔及利亚也有类似的窑在使用。

利比亚代表：在避免旋风筒堵塞方面，丹麦史密斯公司是否有什么控制系统？

丹麦埃格索：是的，有几种控制系统。其中最简单和最便宜的设备是在旋风筒底部安装一个“停止箱”。只要是旋风筒内料已经积累起来，就进行敲打，防止堵塞。另外一种比较现代化而且价格昂贵的系统是γ射线探测器。γ源放在旋风筒一侧，另一侧放置接收指示器。然后，γ射线穿过旋风筒，当原料通过时就有所显示。因此得知旋风筒内堵塞情况。

法国马立克：在线测定游离氧化钙是否也用于控制水泥窑？

丹麦埃格索：没有，现在尚没有。

赞比亚伦古：埃格索先生，Fuzzy控制系统会用在烧煤的水泥窑上吗？

丹麦埃格索：是的，在丹麦，装备这种控制系统的全部是烧煤的水泥窑。但是送煤的准

确性比较困难一些，不如烧油和烧天然气。目前有7条窑使用这种控制系统，其中6条窑是烧煤的，一条窑烧油。无论是烧油或是烧煤的窑采用这种控制系统都没什么问题。当烧油的时候，只要把油量和油的压力控制恒定的话，那么这种控制偏差在 $\pm 0.5\%$ 就可行。在烧煤时，解决这个问题的最好办法是使用单路喂煤喷管，它的准确率达 $\pm 1\%$ 。但即使是最好的喂煤称量系统也不能计算出精确的卡路里值。因为燃料的卡路里值是在变的。这就是控制煤的困难因素之一。

土耳其亚格兹：为了使生产的水泥便宜一些，总是需要自动化。在另一方面，使用非常先进的自动化系统常常是困难的，特别是在发展中国家尤其如此，由于其财务的原因，技术上的原因，缺少足够的配件，所以趋向于人工操作。因此，是否正在做出努力研制出更简单坚固耐用，更可掌的设备？

丹麦埃格索：是的，一些不同程度的自动化是可能的。如果不想使用电子计算机控制的话，可以使用几种简便的控制系统，比如目前市场上出售的PI控制器和PID控制器等。在使用电子计算机控制的工厂里，如果电子计算机或X射线分析仪出了故障，甚至如果整个控制系统停止运转，那么也必须使用滴定这种传统方法来进行生产。关于上述控制系统，使用厂家可提出自己要求，按照要求设计。但是整个控制系统的装置都是很紧凑的。每个元件都是标准元件。因此，使用电控设备时，如果有足够的配件，生产是不会受影响的。

土耳其亚格兹：埃格索先生，对将来水泥工业是否有可能进一步减少燃料消耗和电耗，您有何看法？

丹麦埃格索：关于这个问题，目前世界各国的水泥公司都在进行研究和探讨。我个人认为，在不久的将来有可能去掉回转窑，而在悬浮状态下煅烧熟料（流化床反应器）。在这种情况下，热传递会更好一些，表面热损失会少一些。当然，这并不是一种新想法。在美国，40年前就有了第一台悬浮状态下烧熟料的设备，这就是Pedrel法，但是从来没有取得成功。所以现在人们可能已经把它忘了。但是对于我们今天的技术来说，也许有能力克服当时出现的困难。对于现代化的回转窑来说，其热效率并不低。当然，我们永远也不可能把热耗降低到理论值420大卡以下。另外，粉磨效率还是相当低的、一般说来水泥磨的效率只有2%，当然，对于如何提高粉磨效率也在做不断的努力。一个理想的粉磨方法是增加磨仓，而使用的粉磨介质应当是越来越小，粉磨效率则随着研磨介质尺寸的减小而提高。但是，遗憾的是，尺寸很小的研磨介质并不能将熟料全部粉碎。因此，在10年前我们曾经使用过小钢段磨，前面是球磨，而后面跟着是小钢段磨，钢段直径只有3~4毫米。因此，当研磨比较硬的熟料时，先在球磨里进行研磨，然后再放到小钢段磨里进行粉磨。但现在面临的问题是小钢段磨没人愿意买。当然如果需要快硬水泥只占10%的话，那么就不愿意买这种90%的时间闲着的设备。现在，丹麦史密斯公司把这种原理用在一种新磨机的上叫做“康比丹”磨，如果你想达到不同的粉磨细度，又要得到同样的强度时，这样就可节省10~20%的能耗。就能把水泥磨的效率提高2~5%左右。但是迄今为止我们还没有找到解决水泥磨电耗的理想办法。

丹麦罗德：我准备最后写一份这次会议的总结报告。准备写二个内容，第一个内容是黑生料和半黑生料法。第二个内容是带分解炉的回转窑里烧煤的问题。我认为这两个问题大家都有不同的看法。不同的工艺得出不同的结果。关于黑生料和半黑生料法的问题，看起来大家都趋向于采用黑生料法。黑生料法的最大优点是料比较均匀，这是因为煤的灰份能够均匀

地分布在熟料当中，这很自然的也就提高了熟料的质量，提高了强度。这方面还需要进一步探讨。中国的水泥厂和中国的建材研究院充分地在这方面进行了研究。中国关于料封改进方面也有很好的经验。我想写的第二个内容是关于在窑外分解窑内烧煤的问题。具体内容见详细报告。

联合国雷登：随着水泥工业的发展，新技术不断的出现，但在参观水泥厂过程中，你会发现每一个水泥厂都有自己的特点。所以当准备安装新设备时，要认真考虑每个厂的特点，得出结论。我希望中国的水泥专家们应当组织到各个国家参观学习，必要时可以得到联合国工发组织的资助去外国考察。看看别的国家是如何制定计划或解决本厂问题的。联合国工发组织每年都要组织专家到各国学习和培训，如到西德、法国、土耳其等国。甚至非洲也派人去。当然，所有考察或学习的开始，也就是对问题开始下定义的时候。得出定义后，基本上也就得出了结论。这个结论也是通过系统性的进展得来的。从而得出解决问题的办法。比如这次会议上许多代表对立窑的改进提出了不少好的方法、好的建议，也取得了很大的进展。但是我想在这里忠告大家，当立窑顶部的成球盘加以改进以后，喂料更加均匀，那么窑底部的料封系统也应加以改进，因为窑里的物料堆积不一样。所以说当你解决一个问题后又会出现另外一个问题。关于预测将来的水泥需求量的时候，中国水泥的需求量将大大增加。将来水泥工业的发展也主要是以回转窑为主。从战略角度讲，水泥厂的位置很重要。水泥厂应设在离原料近的地方，便于交通的地方，而且与人口稠密地区要有一定的距离。当然，这并不意味着我们可以忽视环境污染的问题。在水泥厂无论采取什么措施，不同程度的污染还是存在的。水泥厂的兴建主要靠本国自己的技术力量，但是根据自己的国情，也可适当的购买外国的先进技术设备。

(陈莲英根据录音编译)

