



第一届NCB国际水泥会议

水泥工业现代化策略 讨论会论文选集

印度 新德里 1987

技术情报室译
朱祖培 祁兴久 审校

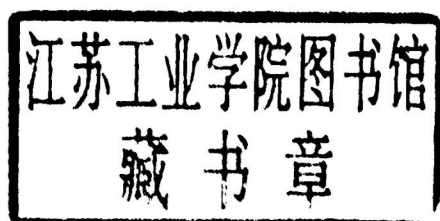
天津水泥工业设计研究院

1987年 8月

水泥工业现代化策略 讨论会论文选集

技 术 情 报 室 译

朱祖培 祁兴久 审校



天津水泥工业设计研究院

参加本资料翻译和校对的人员如下（按姓氏笔划为序）：

孔小燕	王惠英	付君武	祁兴久	邢宝英
刘砚秋	朱祖培	许淑绵	刘瑞凤	迟玉兰
沈曾荣	周捷	侯宝珍	耿光斗	曹桂征
董桂敏				

前 言

1987年1月6～9日在印度新德里召开了提高水泥生产策略和实现现代化国际讨论会，我国应印度国家水泥与建筑材料委员会的邀请，由国家建材局派遣刘公诚、我、祁兴久和张恪等四人组成的代表团出席了会议。

我国代表向大会提交了四篇论文，介绍了我国水泥工业装备的设计与进展，我国地方水泥工业的发展以及特种水泥的开发与生产等内容。会议期间，我国代表受到东道国的热情接待，被安排在会场首席位置。刘公诚同志和我多次在主席台上就座，担任会议执行副主席。

会上共发表论文87篇。题材广泛，内容丰富。为将会议的主要内容介绍给我国读者，由我院技术情报室选译出34篇，印刷出版，作为一份技术资料供我国水泥工作者参改。

侯宝荣

一九八七年三月

序 言

印度自七十年代以来大致每两年举行一次全国规模的水泥生产技术经验交流会。为广泛吸收国外先进技术和经验以提高印度水泥工业的经济效益,加速现代化,决定从1987年起将会议规模由全国性扩大为国际性。应邀参加这次首届由印度国家水泥和建筑材料委员会主办、在新德里举行的国际水泥工业现代化策略讨论会的,除东道国印度的近500名代表外,有来自20个国家的78名外国代表,包括世界大多数著名的水泥设备制造公司和咨询公司。会上共宣读了87篇报告,题材甚为广泛,几乎涉及水泥生产和工艺装备的全部领域。印度方面的报告内容以生产技术经验居多,外国的代表则主要介绍他们开发的新工艺和新装备。

天津水泥工业设计研究院选译的这34篇报告基本上反映了当前世界水泥企业的先进生产经验和已经采用的水泥工艺技术的最新水平,是一份极为实用的文献,深信对我国从事水泥生产、研究、设计和教育的广大技术人员和师生均有参考价值,也将有助于我国水泥工业提高经济效益和实现现代化。

刘公诚

1987年7月5日

目 录

矿山开采规划计算机化	1
过程控制和优化技术的新经验	7
提高水泥厂生产率的条件监控技术——NCB 的方法	18
印度一百万吨水泥厂的维修策略	21
维修计划及其对提高生产率的影响——对问题的分析评价	34
影响印度水泥厂产量的耐火砖问题	37
使用方镁石——尖晶石砖可以提高效率	48
提高生产能力的途径	52
水泥磨最佳化的途径	57
OK 辊式磨粉磨水泥、矿渣的操作经验	63
劣质煤在水泥窑系统中的使用	69
高灰份煤的有效利用	73
流态床热风炉用于水泥厂煤烘干	79
熟料形成和节能的动态特性	82
设计优良衬板,降低球磨机的单位电耗	85
粉磨高炉矿渣的辊式磨——节能的能力提高	89
在波特兰水泥粉磨中评价强度和效率的一种实用方法	95
测定粉磨系统中粒度分布的重要性	110
现代化改造: 兰圈工业公司的最新实例	113
短窑的设计依据	118
新开发的 VA - PASEC 预分解系统的操作情况	122
改成半干法的入窑物料的过滤	128
耐火材料的新发展	134
用水平喷气的篦子冷却水泥熟料	142
水泥厂模拟、最佳化和过程控制系统	146
水泥厂培训模拟装置	151
水泥原料化学成分控制——第一部份	154
水泥原料化学成分控制——第二部份	159
水泥厂计算机控制经验	162
水泥工业用的分析测量装置	167
生料、水泥和粉煤灰贮存、混合和输送新工艺	172
印度水泥工业黄麻纤维袋和粘式缝阀口袋的现代包装车间	179
水泥厂包装车间的装车、摆包和包装设施	186
NCB 探讨散装水泥供应的途径	194
投资较低的散装水泥的运输	200

矿山开采规划计算机化

A. H. Mortensen

引言

近年来,在许多现代化水泥厂内,矿山规划已经成为一个“关键的词汇”。人们认识到一个厂的满意操作取决于原料控制,并且这样的控制必须从生产的最初阶段即矿山开始。

然而,还应该强调一点,矿山开采不能被看作是一个单独的生产操作,而是生产水泥原料整个生产过程的一个组成部分。这意味着,在矿山操作中所做的决定,对与原料制备过程有关的其他生产操作如破碎、预均化和磨前均化都有影响。当然,反过来也一样。因此,为了保障矿山规划与其他生产程序最佳化不相矛盾(反之亦然),在原料制备中涉及的所有生产操作应被设计成一个单一的功能单元。

在考虑了这些方面的情况下,史密斯公司很早以前就完成了研究和系统规划工作。今天,一个综合的原料制备过程的完整概念已经在电子数据处理装置(EDP)的支持下研制开发出来。后者是这个概念实际应用所要求的,因为它充分利用了现代工程和制图原理。为了方便起见,这个概念被称之为CES概念(CES: Computerized Raw Material Evaluation System—计算机原料评价系统)。

本文对CES概念进行描述,首先介绍计算结果,而不是详细描述它是如何工作的。应该说明一点:包括图表在内的一些数据是建立在计算机彩色图象的基础上的,因此,不可能从本文所黑白复制图表上得到相同数量的数据信息。

水泥原料生产总策略的规划

在钻孔和分析工作完成以后,才能够开始实际规划工作。钻孔和分析工作总是先于采矿方面其他工程活动之前。首先要回答的第一个问题是由钻孔控制的整个矿床的哪个部分被考虑用于水泥生产。或者换句话说,该采场(或几个采场)到底包含多大的矿量。除非矿床既大而又完全均质的那种简单明确的情况以外,对于这个问题的回答是极为含糊

的。

因此,在应用CES概念时,不仅要考虑包含矿床全部或一部分的一个采场,而是要设计一整系列可供选用的矿场。毋须详细,只简要地就可以说明:在各种具体情况下采用的设计方法决定于矿床的结构。在某些情况下,通过改变外部边界(即矿山底盘、伸向覆盖层或废石的界面及边坡)设计几个可供选择的矿场。在另外一些情况下,采用剔除内部废石的方法,不管是在台段开采期间进行,还是采用连续提高品位的生产工艺(筛分、浮选等)来实现。

图1给出矿石品位—储量曲线。这是从矿场设计程序的顺序计算中得出的。它显示出各可供选择的矿场方案的矿石平均品位与储量之间的关系,也给出了每种方案要排除的废石量。

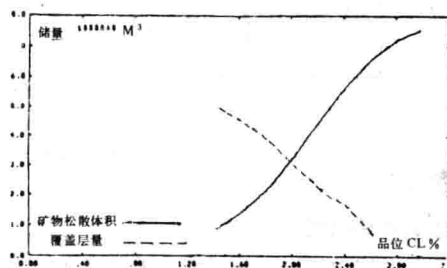


图1 一系列矿场方案的品位—储量曲线。横座标为每种方案的计算C1—品位,纵座标则是相对应的储量,虚线代表作为覆盖层要排除的废石量。

下一个问题是,从每个矿床中应该选择哪个矿场方案作为生产的基础。这个问题只能根据水泥原料的化学成分来回答。结果是,所有矿场方案都要经过有计划地“混合”,也许还要增加某些辅助原料,例如铁矿石、铝矾土和粉煤灰。

可能存在着许多种混合可能性或方案。如果说有两个原料矿床中的每一个可以设计出10个矿场开采方案的话,那么将有100个可能出现的原料混合方案。所有这些可能存在的原料混合方案当然不都是同样的好,其中某些方案可能完全不能满足水泥原

料成份要求，在计算中将被立即排除。

在剩余的原料混合方案中，必须根据某些最佳化指标进行选择。这样的最佳化指标可能有许多，其中经常采用的一个是为获得混合原料最大可能产量的要求（可能产量：理论上可能生产的混合原料的吨数）。

另一个指标可以是某些有害成分（例如碱、

硫、氯等）保持在一定限量下的要求。

最后一个指标是为获得混合原料的最低生产费用。

图 2 所示为 100 个原料混合方案的每吨混合原料的相对生产费用。因此，如果生产费用是选择某种混合原料的决定性指标的话，那么，所做的选择将落在方案 № 5 上。

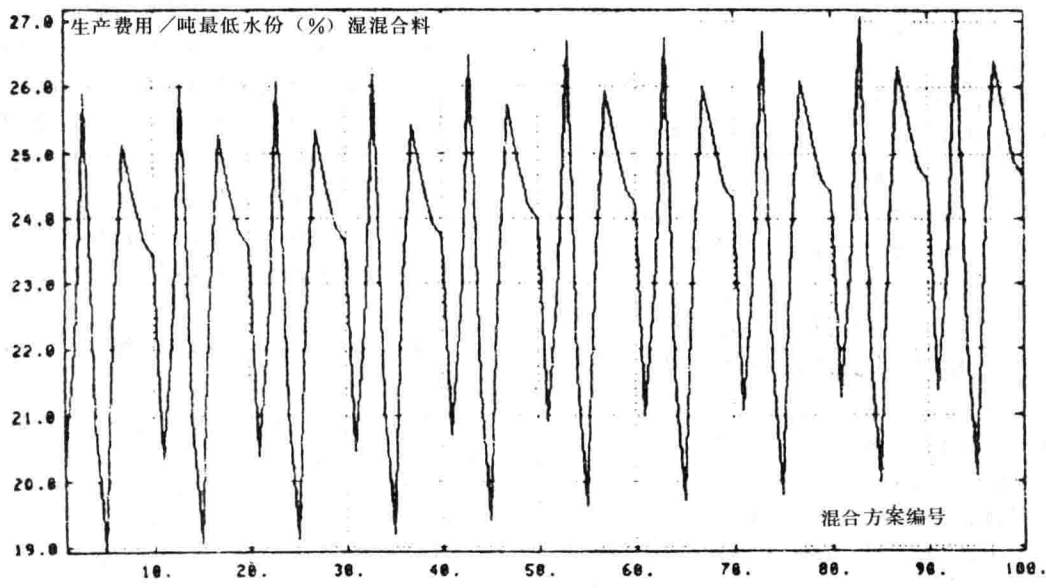


图 2 100 个原料混合方案的每吨混合原料的相对生产费用

规划采场布置

随着上述设计程序的完成，可以准确地知道保证水泥最优化生产的采场储量实际上位于什么地方。现在的问题是如何开采它们，回答是需要有一个采场布置，并且如果可能的话，需要有一个最佳的布置。为了保证获得后者，首先必须考虑原料混合过程的某些特征。

在设计过程中，对混合比的要求迟早要转变成设备设计的参数。混合比最终将决定生产量，从而决定所有输送及加工物料的设备的生产能力。如果混合比保持不变，就不要求设备具有峰值能力。如果混合比是变化的，就不得不考虑设备的峰值能力。所以，与前一种情况相比，设备投资将较高。因此，在整个混合操作期间，设法保持恒定不变的混合比是最重要的。这个条件可以通过保持从矿石储量中

获得的矿石品位恒定不变而得到保证。

现在再回到采场布置问题，要做的第一件事情是找出最佳台段布置。台段布置是由台段高度和底盘位置确定的。为了找出这两个参数的最佳组合，只是对它们进行系统地改变，直到找出它们的最佳组合，从而使台段与台段之间在矿物品位上的差别尽可能最小。

在台段高度和底盘确定后，必须对每个台段的矿物类型或品位的内部分布进行研究。这个要求具有明确的操作重要性。即使一个台段有一个平均品位，把它划为比方说中等 CaCO_3 品位的矿石，它也很可能是由高、低品位两种矿石组成的。因此，为了保持开采的平均作业，也就是说相当于台段的平均品位，可能需要把该台段分成两个独立的采区，然后把开采的矿石混合起来。

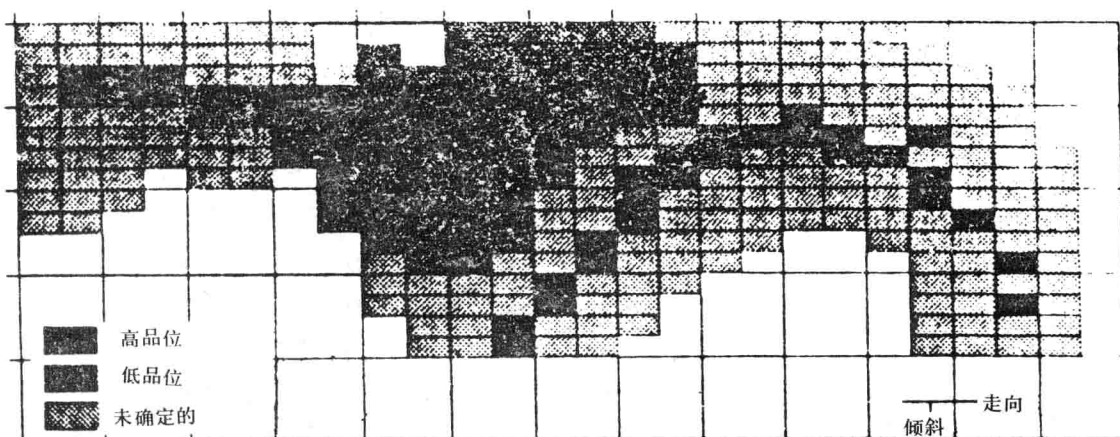


图3 不同品位 50×100 米矿块分布台段图, 高低品位矿块占95%

图3表示一个台段的矿块图。各矿块的规格为 50×100 米, 矿块最长方向的取向是与矿床走向平行。对矿块的平均 CaCO_3 应用地质统计法(Kriging)进行计算。该台段包含高低品位两种矿石。应用地质统计估算法也可以获得有关矿块平均品位的误差。因此, 在一定的概率水平上, 可以预计是否能够把矿块划分成高品位或低品位矿石。对于图3上的所有矿块来说, 明显的不是这种情况。它们中的某一些对于这两种矿石来说是不明确的。很明显, 为了保持台段平均品位的原矿, 不得不把台段分成两个采区。然而, 分界线位于何处并不清楚。

有关矿块平均品位的估价误差决定于两个因素: 1) 用于估价的钻孔的数目; 2) 考虑中的矿块的大小、几何形状和取向。在设计阶段, 显然没有时间获得更基本的数据信息, 而对钻孔的数目必须看作是固定的。然而, 有可能系统地改变矿块的大小、几何形状和取向, 或许能由此得到该台段内更具代表性的矿石分布情况。

为了完成采场布置, 对于每个台段来说, 必须确定以下操作参数(或者, 如果将一个台段进一步细分成采区的话, 就指对每一采区而言): 1) 工作面方向(θ); 2) 覆盖层(B); 3) 每次爆破沿工作面的长度(工作面采区长度, FSL)。覆盖层、工作面采区长度及台段高度(H)确定了一个矿块($B \times \text{FSL} \times H$), 即在一定时间内输送到厂内的准确的矿石量。回顾前面有关混合操作特性所作的说明, 为了将设备的峰值能力减至最小, 所有这样的矿块在品位上应尽可能均匀一致。

因此, 设计程序包括改变工作面方向、覆盖层和工作面采区长度, 一直到这个条件得到满足(台段高度已经通过以前的设计程序确定)。

生产系统模拟

完成了上述设计阶段以后, 所讨论的矿床的采场边界和采场布置就完全确定下来了。最后要回答的一个问题是: 为了保证水泥原料具有“原料混合生产总策略”规定的成分, 在采场和生料磨之间应该采用什么样的设备配置? 所希望的是, 不应任意选择设备配置, 而应该满足某些最佳化指标。

设计任务是一个综合性的任务, 通过应用 CES 概念的数字模拟来处理。这个模拟过程原则上工作如下: 规定开采顺序, 确定“原矿”如何送到厂里。然后, 确定整个原料制备系统的方案。最后, “原矿”“通过”生产系统送到工厂, 并记录生产系统的情况。整个程序可以重复若干次。最后要解决的问题就是按照最优化指标选择生产系统方案。

生产系统模拟的实际应用

生产系统模拟从规定所有与开采过程有关的变量开始。

从实际出发, 一个台段可以分成几个采区, 这些采区将按一定的次序开采。对于每一个采区要规定操作顺序。首先, 确定工作面方向。然后, 确定矿块尺寸 $B \times \text{FSL} \times H$, 这相当于送到工厂的矿石量(下文称之为一个工作面采区矿块)。关于工作面方向和工作面采区矿块尺寸的数值, 在采场布置的设计中就已经确定。

最后, 规定开采操作的起点。现在可以要求一

张台段图了。图 4 所示为某一采区的这种台段图。图中表示所有工作面采区矿块、矿块的方向和所规

定的尺寸，并按照规定的开采作业顺序排列。

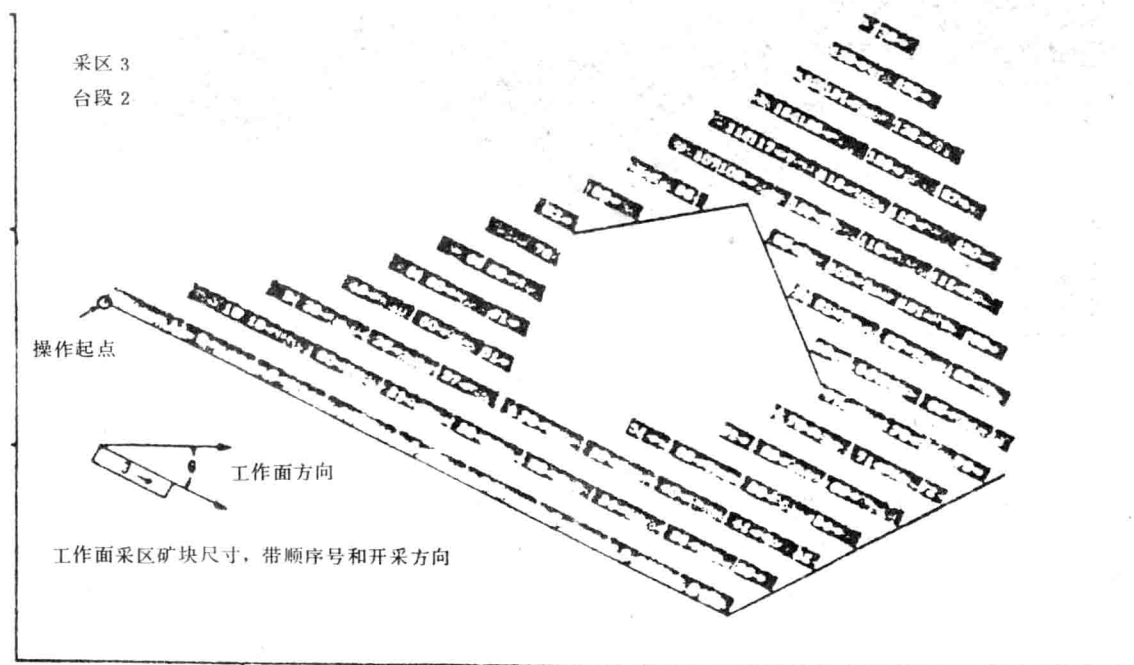


图 4 某台段模拟开采作业图,“白色”中央区域无矿石

现在可以建立下一个变量，这就是中间堆存的料堆尺寸，是否需要预均化，它将开采一破碎一堆料的操作与取料一磨机喂料的操作分开了。对该变量规定一个数值意味着将图 4 上的工作面采区矿块按照规定的操作顺序进行组合，以便建立一组相当于上述料堆大小的新的矿块。另外，在这个阶段可要求一张类似图 5 那样的台段图，它表示爆堆在台段上原来的位置。由于该图是某一时期整个台段的一个概貌，所以不可能表示各个料堆的详细布置，代之以定出每个料堆左下角的位置（按照开采顺序，料堆从左下角开始），并在那个位置上画出有颜色的小方框以表示该料堆的平均品位。在图例中规定了颜色与品位之间的对应关系。

在一个非均质的矿床中，例如，在一个中等品位的石灰石矿床中，很可能出现一些低品位料堆值。这些低品位料堆以后与实际的低品位矿床来的料堆进行混合时将会带来一些问题。如果“料堆图”上显示出有太多的这种低品位料堆时，就不得不做某

些考虑。如何考虑将取决于这些料堆的分布情况。如果它们在某些区域内聚在一起，最可能的原因是由于对开采顺序选择不当。因此，需返回到开采顺序变量，进行某些必要的修改。另一方面，如果“不好”的料堆值分布得较分散，其原因可能是由于对变量“料堆尺寸”的数值规定得太小。因此，返回到该变量，并改成一个适当的值。

无论什么原因，在这个阶段还有进行修改的机会。这样，在以后的计算中可避免许多无效的工作。

规定变量的下一步要求规定一种混合原料。当然，在正常情况下，这种混合原料应该与为整个原料混合策略的规划所选择的混合原料相同。如果对主要原料混合组份是否能总是得出正确的混合原料产生怀疑，也可以规定某些备用原料（设想的原料）。

在规定了混合原料和备用原料混合模拟以后，可以要求各种不同的打印件，例如关于混合操作的一般资料、所消耗原料的平均质量、平均产品质量以及原料组份的平均产量分布。

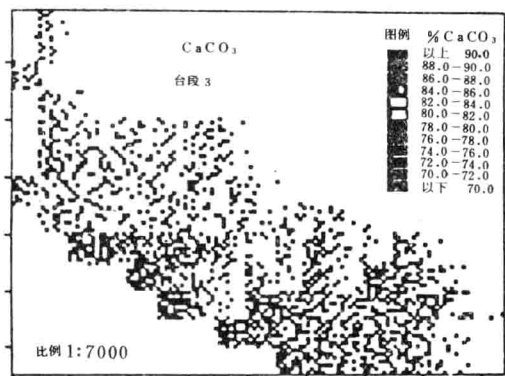


图 5 显示爆堆原来位置分布的台段图，每个方框表示料堆（尺寸为 $B=2.5$ 米， $FSL=250$ 米）的左下角，颜色代表料堆的品位。

在这个计算阶段提供的进一步信息是不可能混合的矿石量，和留在采场还未用掉的矿石量。正确的利用这个信息是相当重要的，将详细讨论如下：

模拟程序准确地按照实际进行的方式进行混合。从代表采场的资料中检索出料堆，并在一个假设的粉磨设备内进行混合。由于料堆的混合顺序不是任意的，而是必须遵循开采矿床的实际规划，因此，不可能保证料堆量总是与相应的总开采方案的采掘量以相同的方式达到平衡。这可能导致在累计料堆量之间的累计混合比发生变化，其结果是，一个采场可能已被采空，而另一个采场仍留有矿石未用。

要观察的另一件事情是，料堆量仅代表采场矿石总量的很小的“样品”。这样，料堆的平均品位可能与采场的平均品位完全不同。在某些条件下，甚

至于不能保证按照规定完成一次混合过程。这样的料堆可作为“不能混合的矿石”记录下来。在需要时可以提供表示这种矿量的分布图。

如果从原来确定的可能产量中扣除“不能混合的矿石”和留在任一采场中未用的矿石，就可求出实际上可以得到的混合原料量。如果结果满意的话，就可以进入下一个计算阶段。如果不满意，必须重新考虑所有变量，从采场布置开始，并且为了获得更好的结果，要设法修改变量。

当最后求得能够接受的可回收混合原料量时，就可请求提供采场作业进度表。它包括在规定的生产时间内消耗的矿石量和工作面推进的资料。工作面推进也可表示在与图 4 相同的图上。此时，工作面采区矿块可按照采场作业进展予以取消。

生产模拟的最后一步要求规定生产系统内的时间分布，即规定开采一破碎车间和粉磨车间的作业班数、每班工作小时数等。

此外，通过生产系统的物流流也是一个变量，必须作出规定。图 6 给出用两种原料组份进行混合操作时的两种不同的物流流型式。在同时操作的型式，每一种原料，从采场到磨机是由各自的一组设备分别处理的。因此，两种原料可以同时生产，并且彼此独立。而在顺序操作的型式，原料组份由一组并且是同一组设备处理。采用这种操作型式，可使需要的设备减至最少，但是必须满足某些条件，例如，各种原料必须具有相似的物理性质，其采场不应彼此相距太远。

还可以有以上两种类型物流流的组合型式。

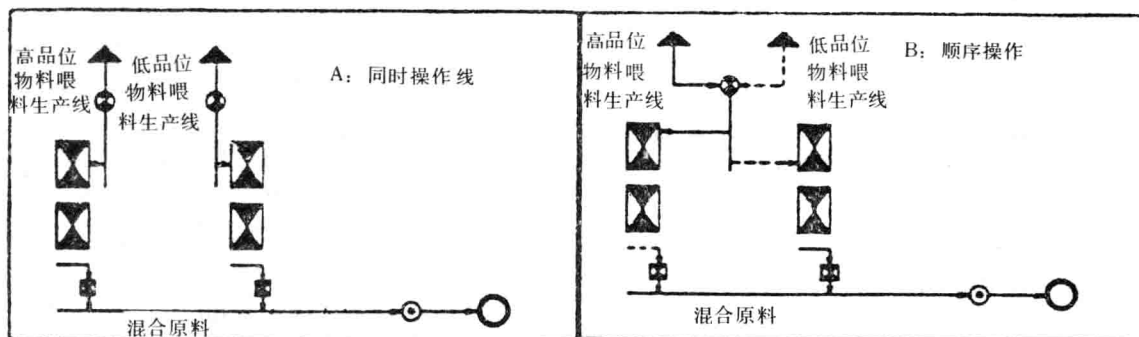


图 6 原料混合生产系统物流方案

- ▲原料混合组份 ⚙️辅助堆场 料设备与喂料 ⬅️堆料机
- ⊗破碎机 ⦿生料磨 设备之间的堆场 ➡️取料机
- ⬇️采矿一堆/取 ○生料库 ➡️任何型式的喂料设备（包括采矿设备）

图 7 所示为生产模拟最后一步的运行结果之一。图上给出在低品位原料组份同时操作时对从堆场取料到磨机喂料的设备能力提出的要求。能力要求以频率分布表示,横座标表示能力要求(吨/时),纵座标 Y 轴表示频率。

可以看出,设备通常必须在 50 吨/时左右的能力下工作(约 60% 的情况),但有时可能要求其能力达到 300 吨/时(约 10% 的情况)。

现在可以决定是否应该按设备的最高峰值能力进行设计或者是通过增加班制来处理这些物料。在现在情况下,由于规定了 3 班作业(一个星期 7 天,每天 24 小时),后一种可能性明显地是不存在了。

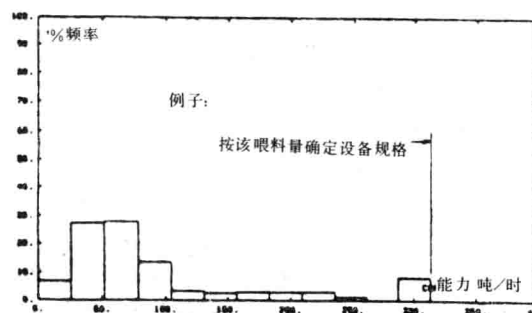


图 7 在堆场取料侧一条生产线的模拟能力要求,考虑设备:取料机和喂料秤
横座标是要求的能力,纵座标是所要求的不同能力的频率

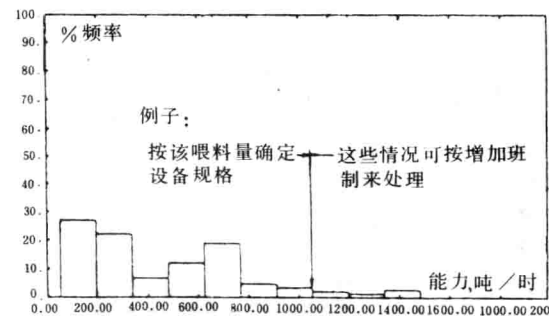


图 8 在堆场堆料侧一条生产线的模拟能力要求。考虑设备:采矿设备、破碎机、堆料机。

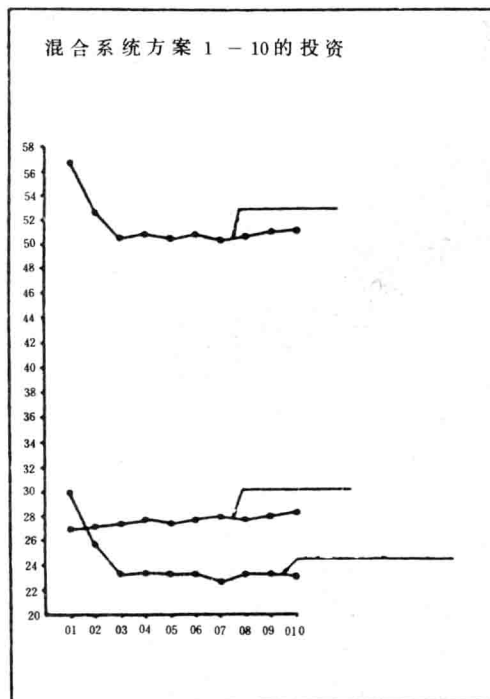


图 9 原料生产系统最佳化(所需投资最低)

对于采矿—堆料设备来说,如图 8 所示,情况是不同的。由于一个星期操作 6 天,每天 10 小时,仍有可利用的时间。因此,其能力可设计成仅为 1000 吨/时左右,相当于要求的 95%。其峰值能力,构成剩余的 5%,可在加班时间处理。

现在可以看出,通过执行一次生产模拟程序能够获得什么结果。在本章开头已经说明,通过生产模拟可以完成生产系统最佳化。

作为本文的结尾,图 9 显示了这样的最佳化情况。通过改变预均化堆场的尺寸可以得出 10 个生产系统方案。计算出贮存和喂料设备的投资曲线。总投资曲线显示出生产系统 No 3 方案最低。

至此,可以看出,系统工程已进入原料制备系统领域。已经不再是只依赖大量的经验和经验法则。当然,在进行调查和设计方面需要花费较大的努力,但是,这些额外的花费将很容易地从厂总投资的节省中补偿回来。因此,可以得出结论:系统工程,例如 CES 概念,对于任何项目来说,都是一项有效的投资。

过程控制和优化技术的新经验

D. L. Lewis

1. 引言

水泥熟料生产过程包括性质复杂的各个过程和装置。我们的目的是降低水泥厂的操作费用，同时使成品的质量最好、数量最多。

直到最近，窑的稳定性和成品质量，还在很大程度上取决于操作人员的经验。为了取得稳定性，操作人员过去一直采用一整套复杂的规则和一定程度的直观控制对窑进行全面监视。即便是优秀的操作人员也有可能出现失误，这种情况是难以避免的。因此熟料质量、产量和燃料用量也就与人为的判断有关。

很明显，测量技术的进步和仪表可靠性的提高，促进了微处理机的加速采用。单个的控制回路，逐渐地，从操作人员的手中被解放出来，并被应用于以微处理机为基础的模拟控制器上。阀门、马达等得到自动调整，使一个特定的过程变量保持在操作人员确定的设定值上。建议的控制型式是比例功能的和积分功能的，必要时还加上微分功能的（即 PI 和 PID）。这种控制器，要求在必要的控制回路数据方面进行编程，它们只适用于短暂停滞时间的一次级控制。应当说窑过程控制的大多数回路都采用这种控制器。

这种过程控制回路（它们是交互式的，并且要求前馈条件或者引起长的过程延迟时间），要求采用不同的方式以确保有效的控制。直到1984年我们才在市场上寻找到我们认为能够处理这些复杂控制问题的实用的以计算机为基础的控制组件包。在此以前，一直使用各种 PID 计算机控制装置，充分发挥其能力，以便达到并保持窑的稳定性。最终确定的计算机组件包，分为两种软件系统。其中一个软件系统，即实时系统（RTS），运行一台实时设备主机，详见第3.2节。另一个软件系统，它在计算机辅助设计控制工艺领域内采用目前最新的技术。这个系统叫做装置分析系统（PAS）。

第2.节叙述用于料浆搅拌作业的监督计算机

控制网络方面的经验。

第3.节叙述用于半湿法窑的 RTS 和 PAS 计算机组件包，这是本文的主要部份。

第4.节说明我们对这个领域将来发展的想法。

2. 料浆搅拌

2.1 引言

在对窑的控制进行研究以前，使入窑料浆的化学成份保持正确是很重要的。

为此，设计并安装了一个以计算机为基础的分散控制系统，以保持对搅拌系统的控制。到目前为止，这一控制系统，已成功地实现了对石灰饱和系数（LSF）和硅酸率（SR）的约制。在通常情况下，LSF 可以控制在要求的设定值 ± 1.5 的范围内，SR 可以控制在 ± 0.03 以内。

控制方案介绍如下，参见图 1。

2.2 综述

这个系统包括三种组份：白垩、粘土和砂子。粘土和砂子料浆以重力方式从浆罐喂料，白垩料浆直接从一个储池用泵送来。

每个料浆管线设有一个流量计密度计和控制阀，藉助一个以微处理机为基础的控制进行封闭回路控制。

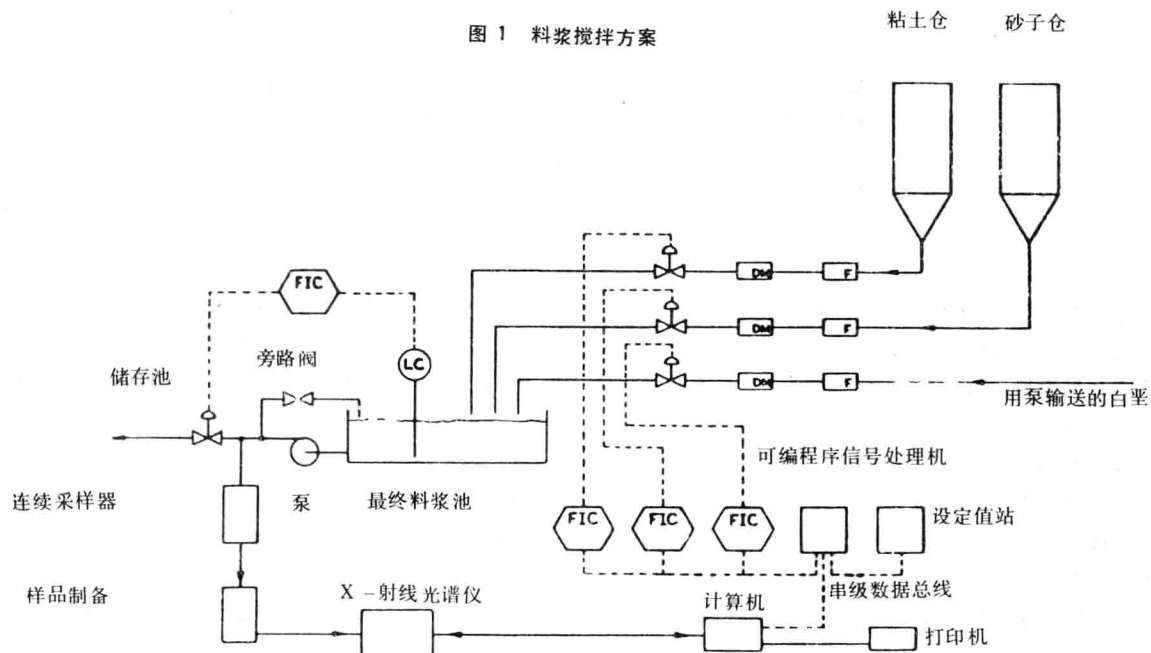
搅拌作业用一台可编程信号处理机进行监督。使用的是‘FORTH’语言。这个程序密切地监督每个单独的控制回路，并且在任何时候都保持混合料的正确配比。当这三个过程变量的任何一个偏移到预先确定的界限以外时，那个特定的回路将保持它的原来的设定值，但是其他的回路将按比例进行调整。当偏差减少时，这些控制器将返回到正确的调定值上。

料浆总需要量和每个组份的干基质量百分数，是由操作人员通过指轮开关输入的。

还考虑有一个“机旁/远程”控制设施，这样可以使监督性控制传输到检验室的一台计算机内。

所有这三种料浆在一个浆池内搅拌，然后用泵

图 1 料浆搅拌方案



送入主要储存池。这台泵以恒定速度运行，浆池的料位自动地进行控制。

在泵的料浆卸料处，设有一个容量为250升的自动取样器。借助两个定时器对采样的次数和规格进行调整。通常采样的次数约为每两分钟一次。料浆不断地进行混合，检验室技术员每一小时取出一个样品，用X射线光谱仪进行分析。

料浆的化学成份应当加以控制，以使LSF和SR保持在要求的数值上。这个光谱仪与一个计算机相连接，计算机再与分散控制系统相连接。

数据输送给这台计算机。在这里完成一次加权计算，从而导出一个新百分比的干基设定值。这些设定值通过一个RS422数据通道传送到分散控制系统中。

一台在线打印机用于提供所有有关资料的硬拷贝，并且产生一个24小时的纪录。

3. 水泥窑控制和优化

3.1 过程介绍

这里介绍的是一台半湿法煅烧过程。水份含量高达48%的料浆用板框式压滤机进行过滤，使水份含量降低到19-20%。这种物料通常被称作料饼，在喂入窑系统以前储存在六个料饼筒仓内。

这台窑采用的燃料是煤粉。原煤采用立磨进行烘干并粉磨，然后细煤粉储存在料斗内。

图2所示为该厂的示意图。

料饼喂料

料饼筒仓慢速回转，将料饼给入每个筒仓底部的螺旋喂料机内。这几台螺旋喂料机在设计上考虑能够将料饼喂到安装在筒仓下面的皮带喂料机上并调节其喂料量，但是实际上每个螺旋喂料机的喂料量有可能变化很大。皮带输送机上的物料量随时用一台皮带计量秤进行称量。皮带机上面的物料落入一个揉捏筛内，料饼通过筛板挤出成为尺寸和形状更为均匀的料球。料球落到一条集料皮带上，输送到一条摆头式皮带上。这条摆头式皮带机以规则的方式往立波尔窑的料斗内喂料。

篦式输送机连续地将料球输送到立波尔窑篦子上。料球在第一室进行烘干，在第二室碳酸盐部分分解，喂入回转窑内。在窑内碳酸盐全部分解后烧成为熟料。物料的烧成是在窑内烧成带内进行的。熟料离开烧成带后，在多筒式冷却机中冷却，然后从冷却机里卸出，输送到储库储存。

燃料喂料

煤粉从料斗底部用一台回转喂料机卸出。煤粉

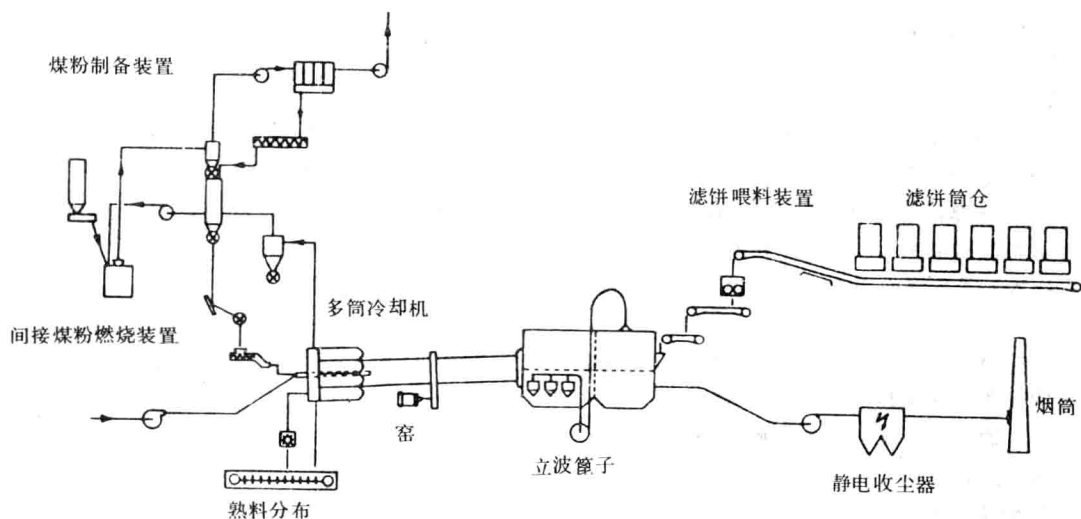


图 2 半湿法过程流程图

经由冲击式称量设备称量，然后在重力作用下，经过一个迴转阀，喂入到一个气动螺旋泵内。这台泵将煤粉输送到一个多喷射通道燃烧器内。

燃料在窑的煅烧带内燃烧。燃烧要求的一次空气通过燃烧风机送入燃烧器。燃烧需要的二次空气通过多筒冷却机抽入窑内。

高温燃烧气体被抽往窑尾的立波尔窑篦子分解室。在这个过程中气体主要通过辐射将热能传递给物料和耐火砖衬壁。

中间抽风机将气体从分解室通过料球层抽出，送进烘干室。气体借助最后的抽风机通过烘干室的料球层送往静电收尘器。在气体两次通过料球层的过程中，热量主要是通过传导进行传递的。

最后，气体通过烟筒的自然抽力排入大气。

3.2 对实时系统（RTS）组件包和装置分析系统（PAS）组件包的评价

实时系统设施

图 3 所示为 RTS 组件包的主要设施示意图。这些设施可划分为两类：一般性实时服务和高级统计/控制工程。

实际服务，就是服务于工厂仪表系统的监视和监督。因此，RTS 具有“常规”计算机系统所具备的大部份部件。信号处理、资料显示和操作设施是灵活的，使用简便的并且能够适应于控制室的各种要求。某些设施比“常规”系统的设施要更为先进。这一点之所以必需，是为了提供适当的设施使工程师能够有效地采用 RTS 组件包特有的研究和

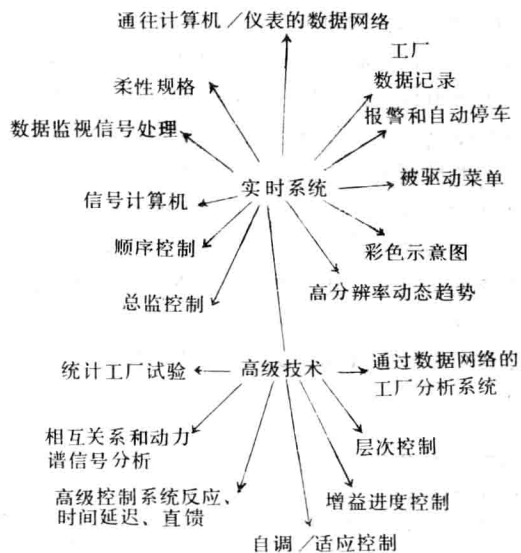


图 3 实时系统设施

控制技术。这样，数据记录和趋势线图可以比通常情况下提供多得多的细节。

RTS 组件包可以监视/驱动多个装置信号和执行器。它可以支持复杂程度不等的多个控制回路。监视获取的资料可以传送到 PAS 组件包内以便进一步研究。

RTS 组件包的高级部件，可以向工程师提供设施，以便工程师对工厂的运转状况进行研究并且确立、实施高级控制系统。

这些部件是：

i) 在线关系的统计和动力谱的分析。这使得工程师可以确定工厂信号之间的相互关系并且对各种其他信号特性做出判断。

ii) 对产生最适合于工厂原因和效果模型的数据进行统计试验 (利用 PAS 组件包)。

iii) 能够补偿时间延迟、相互作用和前馈失调的复式控制器的操作。这些控制器可以在结构化的各个级次上进行操作 并且可以提供工厂的监督控制。

iv) 控制系统的自动化和在线调整, 以便取得最有效的作业并且提供在线系统的直接支持/维修。

v) 自调设施装备在控制系统上, 控制系统可以提供适应控制的潜力。

工厂分析系统设施

图 4 所示为表示 PAS 组件包主要部件的流程图。被监视的工厂数据可以直接由 RTS 传递过来, 或者可以通过对检验室分析的结果进行人工输入的方式间接取得。设有处理这些数据 (从简单的信号编辑到复杂的统计分析) 的各种设施以制成能够记叙/预测数据波动的原因和效果模型。这种模型为过程性质的拟化和工厂动力特性的研究提供了基础。这种模型也可以用在控制系统设计程序上以确定高级的控制器, 其形式是上述的 RTS 组件包和该组件包的进一步实施。PAS 组件包的结构可以使工程师在计算机辅助设计交互作用的范围内进行估价。

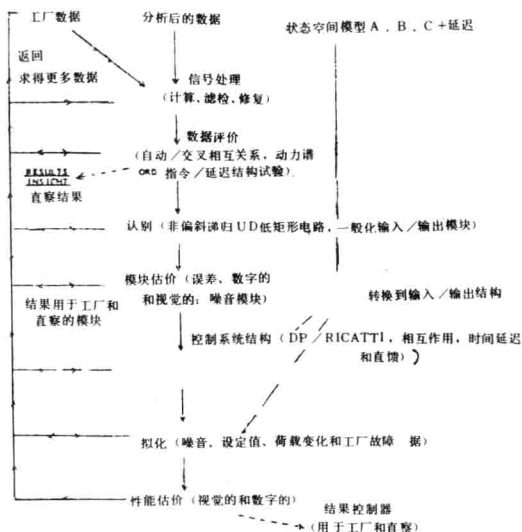


图 4 工厂分析系统总览

这样, 如果给定了现实工厂的考虑和限制, 设计工程师就可以将判断和各种分析结果结合起来以采取最合适的设计解决办法。系统能力的一个例子在 3.4 节进行叙述。

3.3 控制系统布置的叙述

图 5 所示为控制系统布置。RTS (它安装在 DEC LSI 11/73 计算机内) 通过串行数据总线与以微处理机为基础的控制器和智能信号处理单元相连接。分散控制是通过控制器来实现的, 因为其

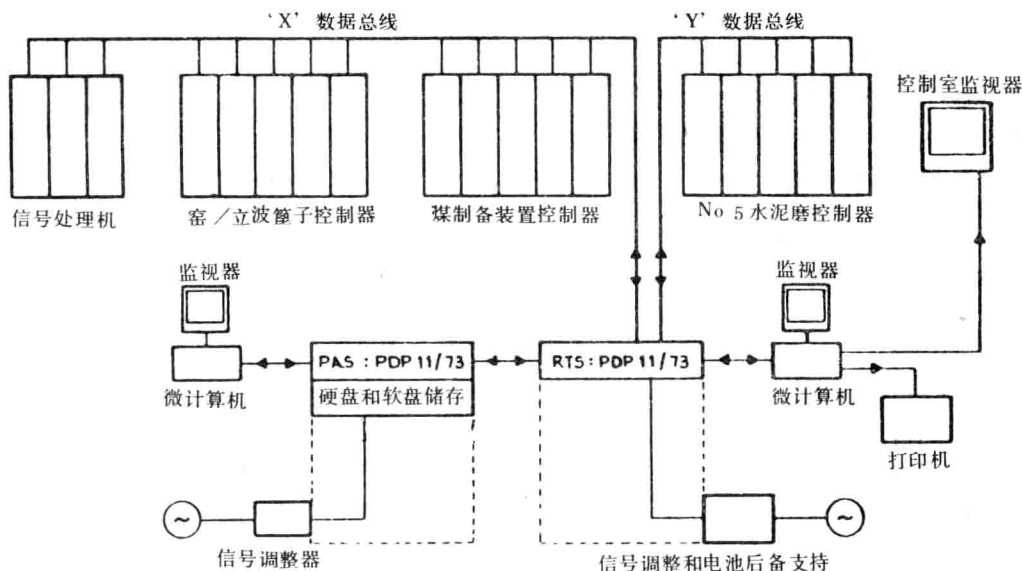


图 5 分散系统的布置

设定值是由计算机自动调整的。直接控制是通过信号处理机进行的,由计算机直接提升或者降低执行器的位置。

RTS通过并行数据总线与PAS相连接(为了达到更迅速地进行传输)。从RTS收集的数据能够储存在PAS的常驻硬盘或软盘上。储存的数据可以在需要的时候在PAS中读到。

设计/控制工程师借助微计算机系统与PAS和RTS交换信息,微计算机系统的组态可以作为高分辨率彩色图像终端。在控制室使用一台一个高分辨率的监视器以对过程进行动态模拟显示,这些显示已经组态在RTS内。

在停电时,RTS由不间断电池作为后备电源支持。RTS要求的所有回路板,在PAS中均有后备支持,并且在停电时可以容易地交替。到目前为止,在1年半的连续作业过程中,只发生过一次硬件故障。

3.4 一个利用RTS和PAS控制组件包的控制回路设计实例

这一节打算介绍在控制回路设计(使用RTS和PAS控制组件包的)中使用的技术。选择的实例是借助最终风机速度对窑入口氧气含量进行控制。

PRBS(假随机二进制顺序)试验和数据收集 第一步

为了取得过程动态的丰富的数据资料,在最终风机速度上造成紊乱。更具体地说,从RTS上向最终风机速度设定值上施加一个假随机二进制顺序(PRBS)。这种紊乱是固定幅度和固定最低频率的(幅度和频率均由工程师选择)。

图6(a)所示为PRBS试验过程中在RTS上记录的30分钟数据的一个打印件。在煤粉喂入量不变的条件下,最终风机速度对O₂和CO含量水平的影响,可以从这个打印件作出粗略的判断。

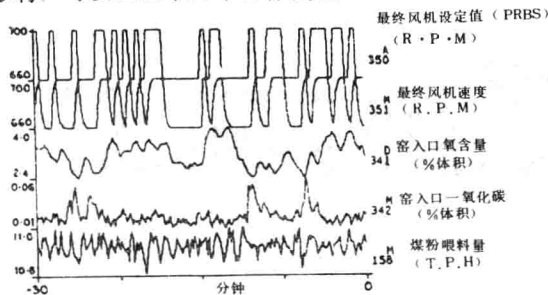


图6(a) 计算机上记录的试验数据

数据往PAS内的传输

第二步

一旦PRBS试验进行了一段相当长的时间,记录的数据就通过并行的数据连接线传输到PAS内。一旦信息传输完成,PRBS就可以离线,设备便恢复到正常运转。

于是数据可以在PAS内调读。

信号调制和对应技术

第三步

数据在PAS内可以调制(信号筛选、信号增添等),并且附加的数据(检验室、分析等)可以用键输入。递归最小平方回归计算可以在任何信号对上进行,以确定任何原因到结果的关系。

图6(b)所示为这一对应技术的结果,表明对应系数与时间的关系。曲线表明了正值时间和负值时间上的对应系数,以确保取得原因到结果正确的途径。

从图6(b)可以看出,风机速度成正比地影响氧气含量,其最大对应系数50秒内为0.56。风机速度对一氧化碳成反比地影响,其最大对应系数少于50秒内为0.31。现在这些数据可以相当有信心地用于建成控制回路动态学的数学模型。

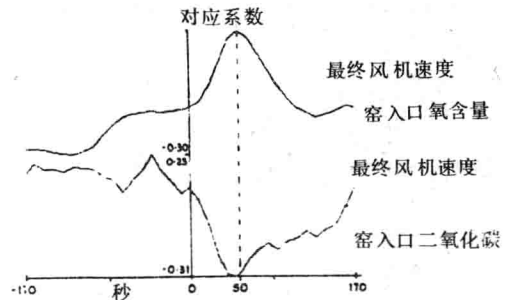


图6(b) 在计算机上完成的对应分析

过程动态学的数学模型化

第四步

过程动态学PAS中采用的数学程序,利用的是最新的控制工程技术。这些数学程序的性质是复杂的。然而,对于系统的操作,深入了解这些数学程序是不必要的,因此不属本文涉及的范围。

设计工程师只需要研究模型化程序的结果。

图7(a)是影响氧气含量的风机速度动态模型PAS上所呈现的一个数据打印件。这个模型已经被指令把动态学行为看作为一个二次序模型,其最