

特别说明

此资料来自豆丁网(<http://www.docin.com/>)

您现在所看到的文档是使用**下载器**所生成的文档

此文档的原件位于

<http://www.docin.com/p-64488425.html>

感谢您的支持

抱米花

<http://blog.sina.com.cn/lotusbaob>

4000T/D 水泥熟料预分解窑原料

制备系统工艺设计

摘要：本文主要介绍了 4000t/d 水泥熟料预分解窑原料制备系统工艺设计，根据配料计算、全厂物料平衡对各主机、收尘设备、输送设备及其辅助设备进行选择。在设计中，我们力求做到技术先进、经济合理、安全适当。生料车间用立磨系统，该系统不仅能节省烘干设备及物料的中间储备和运输，又能节省投资和管理人员，同时，物料在粉磨过程中进行烘干，由于物料不断被粉碎，比表面积增大，烘干效果更好，尤其是磨内通入大量热风能及时将细物料带出磨外，减少缓冲垫层作用，消除了过粉磨现象，提高了粉磨效率。

关键词：立磨系统；比表面积；配料计算

Process design of Preparation of raw materials of 4000T/D cement clinker precalciner kiln

Abstract: This article mainly introduces the process design of 4000t / d cement clinker kiln raw material preparation system, according to the whole plant ingredients, the material balance of the host, collecting equipment, transport equipment and auxiliary equipment selection. In the design, we tried to be technologically advanced, economical, safe appropriate. Raw materials used vertical mill plant system, which can not only save drying equipment and materials, and transportation among the reserves, but also to save investment and management personnel, at the same time, the material in the grinding process of drying, due to material being crushed, increased surface area and drying better, especially with access to a large number of grinding time of hot air will bring out the fine grinding of materials, the reduction of the role of a buffer layer to eliminate the over-grinding phenomenon and improve the efficiency of the grinding.

Key words: Stands rubs system; The relative surface accumulates; Burden calculation

目 录

绪 论	1
第 1 章 配料计算	3
1.1 原始数据	3
1.2 原料的质量要求及评价	3
1.2.1 水泥原料	4
1.2.2 燃料的质量要求	6
1.3 配料计算	7
1.3.1 熟料率值的拟订	7
1.3.3 配料计算	7
1.4 湿原料配合比	8
第 2 章 物料平衡	10
2.1 烧成车间的生产能力和工厂的生产能力计算	10
2.1.1 烧成系统生产能力	10
2.1.2 水泥小时产量和日产量、周产量计算	10
2.2 原燃料干料消耗定额计算	10
2.2.1 考虑煤灰掺入时, 1t 熟料的干生料理论消耗量	10
2.2.2 考虑煤灰掺入时, 1t 熟料的干生料消耗定额	11
2.2.3 干混合材消耗定额	12
2.2.4 烧成用煤消耗定额	12
2.2.5 烘干用煤消耗定额	12
2.3 各种干物料消耗定额换算成含天然水分的湿物料消耗定额	13
2.4 原、燃料需求量计算及物料平衡表的编制	14
第 3 章 全厂主机平衡计算及选型	15
3.1 车间工作制度的确定	15
3.2 主机选型	15
3.2.1 石灰石破碎机的选型	15

3.2.2 生料磨的选型	15
3.2.3 窑的选型	16
3.2.4 煤磨的选型	16
3.2.5 水泥磨的选型	16
3.2.6 包装机的选形	17
3.3 主机平衡表	17
第 4 章 储库计算	18
4.1 确定各物料的储存期以及物性参数	18
4.2 各矩形预均化堆场	18
4.2.1 石灰石预均化堆场	18
4.2.2 其他各物料矩形堆场	19
4.2.3 生料均化库	21
4.2.4 熟料储存库	22
4.2.5 水泥储存库	22
4.2.6 混合材库	23
4.2.7 生料配料库	24
4.3 储库一览表的编制	26
第 5 章 生料车间工艺设计	27
5.1 生料磨流程和设备发展情况	27
5.2 选取粉磨流程及粉磨设备所考虑的因素	27
5.3 立式磨机与其他粉磨系统的比较	28
5.4 ATOX 磨简介	28
5.6 相关参数核算	30
5.7 磨机热平衡计算	32
5.7.1 热收入部分	32
5.7.2 热支出部分	34
5.7.3 热平衡计算	35
5.7.4 磨机系统热量收支平衡表	35
5.8 选粉机热平衡计算	36

5.8.1 热收入部分.....	36
5.8.2 热支出部分.....	37
5.8.3 高效组合选粉机热量收支平衡表	38
5.9 磨机风速、管道尺寸要求计算	38
5.9.1 风管尺寸的计算	38
5.9.2 各风管参数列表如下	41
5.10 窑尾收尘器的选型	42
5.11 生料车间其他设备的选型及计算	42
5.11.1 皮带机的选型	42
5.11.2 斗式提升机的选型	43
5.11.3 螺旋输送机的选型	44
5.11.4 空气斜槽的选型	44
第 6 章 全厂工艺布置	45
6.1 全厂总平面布置的原则.....	45
6.2 全厂总平面布置说明	46
第 7 章 原料制备车间工艺布置	47
总 结	48
致 谢	49
主要参考文献	50

绪 论

新型干法水泥生产自问世以来倍受世界各国的关注，特别是 80 年代以来得到了突飞猛进的发展，国际水泥工业以预分解技术为核心，将现代科学技术和工业化生产的最新成果广泛应用于水泥生产的全过程，形成了一套具有现代高科技为特征和符合优质、高效、节能、环保以及大型化、自动化的现代生产方法。新型干法水泥技术代表了现阶段最高的水泥烧成技术，可以提高窑单位容积产量、高窑砖衬寿命和运转率、自动化水平高、生产规模大，可以选用低质燃料或低价废物燃料，节省燃料，降低热耗和电耗，减小设备和基建投资费用、CO 和 NO_x 生成量少和事故率低，操作稳定。发展新型干法水泥技术是环境保护和资源综合利用的必然结果。同时，新型干法水泥技术涵盖了许多丰富的理论和科研成果，指导着水泥工业设计、研发、生产等工作的不断完善、优化和提升。

本设计是 4000t/d 熟料新型干法生产线生料制备系统工艺设计，采用目前国内外水泥行业相对较为先进的技术和设备，最大限度的降低能耗、降低基建投资，又最大限度的提高产、质量，做到环保，技术经济指标先进、合理。

在设计中采用了石灰石采用了矩形预均化堆场，矩形预均化堆场相比圆形堆场来说，虽然其占地面积相对较大，但其预均化效果要优于圆形堆场，同时矩形堆场可以采用露天布置，相对需要建设顶棚的圆形堆场来说，基建费用较低，同时采用矩形堆场，在以后扩大生产规模时只需加长堆场长度即可满足生产需要，而对于圆形堆场则只能另建一个新的堆场。

生料粉磨采用 Atox 立磨系统，此磨是丹麦史密斯公司与上世纪 80 年代研制的，在国内得到了广泛的应用。并且在实际生产中不断暴露初最初设计时的缺陷，为史密斯公司提供了完善的依据，并最终改进成一种高效率的立式磨。Atox 磨采用 3 个磨辊，相对其他具有相近生产能力的立磨来说拥有更大的磨辊，因此 Atox 磨对料层变化、大块喂料（可达 100~150mm）、异物的适应性强。

生料库采用 1 座直径 20m CF 库均化和储存生料。库有效储量 16328t，储期 2.6d。均化系数不小于 7。库底设有 42 个充气区，7 个下料点，提高了均化系统的可靠性。

熟料烧成采用带 CDC 分解炉的五级旋风预热器，CDC 分解炉特别适合于低挥发分煤的完全燃烧；旋风预热器结构优化，系统阻力低，节能效果显著。三挡支撑回转窑，PYROJET 多通道燃烧器和 PYROSTEP 篦冷机系统。日产熟料正常生产能力 4000t，熟料热耗 3000kJ/kg。

2 座 $\varnothing 20\text{m}$ 圆库（预应力隧道库）储存熟料，有效储量为 18212t。

煤磨采用史密斯公司的 Atox 系列煤磨，煤粉细度可灵活调节，原煤入磨粒度 $< 30\text{mm}$ ，水分 $< 8.0\%$ ，煤粉水分 $< 0.5\%$ ，产品细度为 $R_{90}=8\%\sim 10\%$ ，最大生产能力 30t/h 。

水泥粉磨采用 2 套带 O-Sepa 选粉机的闭路球磨机粉磨系统，简单实用、运转率高，调节水泥细度方便，能同时生产不同品种水泥。辊压机采用成都建材设计研究院的 VDG140-50 规格 $\varphi 1400\text{mm}\times 500\text{mm}$ 混合型辊压机，通过量 $220\sim 250\text{t/d}$ ，配一 V 型 STATOPOL C24-11/10C 选粉机，旋风筒规格 $2-\varphi 3550\text{mm}$ 。球磨机采用两台沈阳水泥机械有限公司生产的 $\varphi 4.2\times 13\text{m}$ 水泥磨，每台磨小时产量 $75\sim 150\text{t/d}$ ，转速 15.75r/min ，两台磨的总产量为 $150\sim 300$ 吨。

8 座 V 型水泥库用于储存和发运水泥，每库储量 5300t ，水泥库底可直接发运散装水泥。采用 1 条丹麦 F.L.S 公司生产的 RA-12 回转式包装机包装水泥，并设有电子校正称、破包机及破包清理等装置，具有称量精度高、密封性能好、扬尘小、自动化程度高及操作简便等优点。

生产楼内设置中央控制室，采用施耐德的 Quantum 和 Momentum PLC 控制系统控制，生产楼内设置中央化验室，负责全厂原、燃材料、半成品和成品的物理检验、化学分析及质量控制。

设置给水处理系统满足生产生活需要。生活、消防给水管网和生产给水管网皆设计为环状管网。设置污水处理场对生活污水、生产废水进行处理。办公楼、生产楼采用中央空调机组调节空气流量和温度；电气室、变电所、总降压站等处采用柜式空调机调节空气流量和温度。

设计中全厂均采用袋收尘器。最大限度地保护当地的自然环境，对环境的污染降到最小。

工艺设计的主要任务是确定生产方法、选择生产工艺流程；确定生产设备的类型、规格、数量，选取各项工艺参数及定额指标。本次设计根据现代新型干法的发展趋势，结合国内同类型的新型干法水泥生产线的设计，采用了目前比较先进的生产工艺和技术装备，进行技术经济综合分析，切合实际，经济合理。设计力求做到“清洁生产”，并且节约能源、提高生产效率、产品质量和劳动生产率，使水泥生产向集约化、高质量的现代化工业方向发展。

第 1 章 配料计算

1.1 原始数据

1、厂区地势平坦, 交通方便, 地质条件良好, 工厂全年气候干燥, 年主导风向为西南风。

2、石灰石、黏土矿距厂较近, 储量丰富, 品位良好, 其他原料来源有保证, 质量好。

3、生产品种为 P.O42.5 及 P.S.A42.5。

4、厂区地址条件良好, 最大震级 5 级。

原、燃料化学成分见附表:

表 1-1 原料主要化学成分

名称	Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	结晶水
石灰石	42.11	1.23	0.70	0.31	53.83	1.30	0.30	—	—
粘土	4.38	68.42	13.85	5.08	2.41	1.92	1.10	0.85	—
铁粉	—	34.42	11.53	48.27	3.52	0.09	—	—	—
矿渣	—	35.06	14.28	2.40	41.34	8.43	—	0.03	—
石膏	20.84	3.62	0.56	0.28	31.94	2.04	—	40.53	16.78
煤灰	—	50.29	39.63	3.26	4.54	1.33	—	—	—

表 1-2 原煤工业分析

水分	挥发份	灰分	固定碳	Qnet(KJ/Kg 煤)
0.48	34.43	15.69	49.40	24980

表 1-3 原料天然水分

石灰石	粘土	铁粉	矿渣	石膏	煤
3	7	4	16	3	8

1.2 原料的质量要求及评价

生产水泥过程中, 原料的成分和性能直接影响配料、粉磨、煅烧和熟料的质量, 最终也影响水泥的质量。因此, 了解和掌握原料的性能, 正确地选择和合理的控制原

料的质量，是水泥生产工艺中一个重要环节。

制造水泥的原料应满足以下工艺要求：

- 1.化学成分必须满足配料的要求，以能制得成分合适的熟料，否则会使配料困难，甚至无法配料。
 - 2.有害杂质得含量应尽量减少，以利于工艺操作和水泥得质量。
 - 3.应具有良好得工艺性能，如易磨性、易烧性、热稳定性、易混合性等性能要求。
- 水泥生产中常用原、燃料种类如表 1-4 所示：

表 1-4 水泥生产常用原料和燃料种类

类 别		名 称	备 注
主要原料	石灰石原料	石灰石、白垩、贝壳、泥灰岩、电石渣、糖滤泥等	生产水泥熟料用
	粘土质原料	粘土、黄土、页岩、千枚岩、河泥、粉煤灰等	
校正原料	铁质校正原料	硫铁矿渣（铁粉）、铁矿石、铜矿渣等	
	硅质校正原料	河砂、砂岩、粉砂岩、硅藻土等	
	铝质校正原料	炉渣、煤矸石、铝矾土等	
外加剂	矿化剂	萤石、萤石—石膏、硫铁矿、金属尾矿等熟料	生料、水泥粉磨助磨剂
	助磨剂	亚硫酸盐纸浆废液、三乙醇胺下脚料、醋酸钠等	
	料浆稀释剂	CL-C 料浆稀释剂、CLT 料浆稀释剂、纸浆黑液等	湿法生产时使用
燃料	固体燃料	烟煤、无烟煤	我国常用的是烟煤
	液体燃料	重油	
缓凝材料		石膏、硬石膏、磷石膏、工业副产石膏等	制成水泥的组分
混合材料		粒化高炉矿渣、石灰石等	

1.2.1 水泥原料

1、石灰质原料

凡是以碳酸钙为主要成分的原料都叫做石灰质原料，其主要种类有石灰岩、泥灰岩、白垩、贝壳等。在生产中我国常用的是石灰岩（俗称石灰石），泥灰岩，个别厂钾采用白垩或贝壳。石灰石品质要求见表 1-5

表 1-5 石灰石品质要求

品 位		CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃	Cl ⁻	燧石或石英
石灰石	一级品	>48	<2.5	<1.0	<1.0	<0.015	<4.0
	二级品	45-48	<3.0	<1.0	<1.0	<0.015	<4.0
泥 灰 岩		35-45	<3.0	<1.2	<1.0	<0.015	<1.0

本次设计采用的石灰石 CaO 含量为 53.83%，属于一级品。

2、粘土质原料

水泥工业采用的天然粘土质原料有粘土、黄土、页岩、泥岩、粉砂岩及河泥等，使用最多的是粘土和黄土。

选择粘土质原料时应注意如下几个问题

- ① SM、IM 值要适当。
- ② 尽量不含碎石、卵石，粗砂含量应小于 5%。
- ③ 干法回转窑生产时对可塑性不做要求。

本次设计采用粘土作为粘土质原料。

3、校正原料

当石灰质原料和粘土质原料配合所得生料成分不能符合配料方案要求时，必须根据所缺少的组分掺加相应的原料，这种以补充某些成分不足为主的原料称校正原料。

常用的铁质校正原料有低品位的铁矿石，炼铁厂尾矿及硫酸厂工业废渣硫酸渣等。目前也有用铅矿渣或铜矿渣的，既是校正原料，又兼做矿化剂。硅质校正原料常用的有硅藻土、硅藻石、含 SiO₂ 多的河砂、砂岩、粉砂岩等。其中砂岩，河砂中结晶 SiO₂ 多，难磨难烧，尽量不用，风化砂岩易于粉磨，对煅烧影响小。铝质校正原料常用的有炉渣、煤矸石、铝矾土等。

本次设计采用加入铁质校正原料（铁粉）的配料方法。

1.2.2 燃料的质量要求

1、 燃料

对于水泥工业的用煤品质要求如表 1-6

表 1-6 水泥工业用煤品质要求

项 目	烟 煤
灰分 Aad %	<30
挥发分 Vad %	20~35
全硫 St,ad %	<2
发热量 Qnet,ad kJ/kg	>21000
水分 Mad %	<15

(1) 热值：预分解窑一般要求煤的低位发热量大于 21000kJ/kg 煤。本设计用煤热值为 24980kJ/kg 煤。

(2) 挥发分：煤的固定碳和挥发分是可燃成分，挥发分低的煤不易着火，窑内会出现较长的黑火头，高温带比较集中。一般在 18%-30%，本设计中的为 34.43%。

(3) 灰分：煤的灰分过高将导致煤的着火点后移，辐射传热效率下降；导致熟料颗粒的成分不均匀，从而影响窑热工制度的稳定和窑熟料产、质量的提高。在新型干法中，煤灰分过高，热值过低，不仅会降低预分解窑生产效率，同时造成燃料不完全燃烧，预分解系统黏结堵塞，降低熟料质量。一般要小于 25%-30%，本设计中所用煤灰分为 15.69%，因此对熟料的影响较小。

(4) 水分：水分是影响煤粉制备和燃烧的不利因素之一。对于燃烧，水分越高，煤粉滞后起燃越严重，相应的热耗增大。对于粉磨，则由于流动性变差，使其运输、喂料不畅，粉磨困难，相应的煤磨的产量降低和电耗会增加。生产中对煤粉的水分应控制在 1%-1.5%。

(5) 煤粉的细度：煤粉的细度直接影响火焰的长度及形状。国内生产、设计采用的煤粉细度，通常 80um 筛余为 8-10%，煤粉越细比表面积越大，与空气中氧气接触的机会越多，燃烧速度快，燃烧越完全，单位时间放出的热量也多，可以提高窑内火焰的温度；煤粉太粗时，黑火头长，难着火，燃烧速度慢，火力不集中，烧成温度低，太粗时也会造成煤灰的不均匀掺入。这些因素都会使熟料质量降低，窑内热工制度不稳定，操作困难。特别是当煤粉太细是，其自燃的几率也增大。

2、熟料热耗的确定

本次设计将熟料热耗定为 3000 KJ/Kg.cl。

1.3 配料计算

1.3.1 熟料率值的拟订

在对预分解窑配料方案设计及其对熟料质量的影响方面，通过系统研究，“两高一中”的配料方案对预分解窑的适应性较好，这对保证预分解窑的熟料质量及设备长期安全运转都有重要意义我国有不少预分解窑水泥生产厂仅通过“两高一中”配料方案的实施，即获得了提高水泥熟料产、质量和回转窑运转率的明显效果。随着设备及生产技术的不断发展，在此基础上，部分厂家又适当提高了 KH 值，进一步提高水泥熟料质量。

结合本次设计产品种类及原燃料的特性，以及按国家现行硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥标准对熟料的要求，本次设计的水泥熟料的率值拟订为

$$KH=0.90\pm0.01, SM=2.50\pm0.1, AM=1.60\pm0.1$$

1.3.2 煤灰掺入量

新型干法生产煤灰掺入量为 100% 则，

$$G_A = \frac{qA_y s}{Q_{DW}^F} = \frac{3000 \times 15.69\% \times 100}{24000 \times 100} = 1.96\%$$

式中： G_A —— 煤灰掺入量，%；

q —— 单位熟料热耗，KJ/kg.cl；

A_y —— 煤灰；

s —— 煤灰沉降率；

Q_{DW}^F —— 煤的低位热值，KJ/kg

1.3.3 配料计算

在对比了书上所举各类配料计算方法后决定采用电子表格试算法，将各原料化学成分输入电子表格后经电子表格试算得出各干原料最佳配合比为：石灰石：81%、粘土：17%、铁粉：2%

表 1-7 生料及熟料的化学成分计算结果

名称	配合比 (%)	Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	R ₂ O	SO ₃
石灰石	81	34.11	0.99	0.57	0.25	43.6	1.05	0.24	—
粘土	17	0.74	11.63	2.35	0.86	0.41	0.33	0.19	0.14
铁粉	2	—	0.69	0.23	0.96	0.07	0.002	—	—
生料	100	34.85	13.31	3.15	2.08	44.08	1.38	0.43	0.14
灼烧生料	—	—	20.44	4.84	3.19	67.67	2.12	0.66	0.22
灼烧熟料	98.04	—	20.04	4.74	3.13	66.34	2.078	0.65	0.22
煤灰	1.96	—	0.98	0.78	0.06	0.09	0.026	—	—
熟料	100	—	21.02	5.52	3.19	66.43	2.10	0.65	0.22

则:

$$KH = \frac{CaO - 1.65Al_2O_3 - 0.35Fe_2O_3}{2.8SiO_2} = \frac{66.43 - 1.65 \times 5.52 - 0.35 \times 3.19}{2.8 \times 21.02} = 0.95$$

$$SM = \frac{S_c}{F_c + A_c} = \frac{21.02}{3.19 + 5.52} = 2.41$$

$$IM = \frac{A_c}{F_c} = \frac{5.52}{3.19} = 1.73$$

所得结果在要求值范围内

1.4 湿原料配合比

$$\text{湿石灰石} = \frac{81}{100 - 3} \times 100 = 83.50$$

$$\text{湿粘土} = \frac{17}{100 - 7} \times 100 = 18.28$$

$$\text{湿铁粉} = \frac{2}{100 - 4} \times 100 = 2.08$$

将上述质量比换算成百分比

$$\text{湿石灰石} = \frac{83.50}{83.50 + 18.28 + 2.08} \times 100\% = 80.40\%$$

$$\text{湿粘土} = \frac{18.28}{83.50 + 18.28 + 2.08} \times 100\% = 17.60\%$$

$$\text{湿铁粉} = \frac{2.08}{83.50 + 18.28 + 2.08} \times 100\% = 2.00\%$$

第 2 章 物料平衡

2.1 烧成车间的生产能力和工厂的生产能力计算

注：以下公式源于《水泥厂工艺设计概论》P39，设计要求的日产量 4000 吨熟料，采用周平衡法。

2.1.1 烧成系统生产能力

$$\text{熟料小时产量: } Q_h = \frac{Q_D}{24} = \frac{4000}{24} = 166.67 \text{ t/h}$$

$$\text{熟料日产量: } Q_D = 4000 \text{ t/d}$$

$$\text{熟料周产量: } Q_W = 7Q_D = 28000 \text{ t/w}$$

2.1.2 水泥小时产量和日产量、周产量计算

P.O42.5R 硅酸盐水泥：P.S.A42.5R 矿渣硅酸盐水泥=6：4

P.O42.5R 硅酸盐水泥小时产量

$$G_h = \frac{100-p}{100-d-e} \times Q_h = \frac{100-3}{100-5-10} \times 166.67 \times 60\% = 114.12 \text{ t/h}$$

P.O42.5R 硅酸盐水泥日产量

$$G_d = 24 \times G_h = 24 \times 114.12 = 2738.82 \text{ t/d}$$

P.O42.5R 硅酸盐水泥周产量

$$G_d = 168 \times G_h = 168 \times 114.12 = 19171.76 \text{ t/w}$$

P.S.A42.5R 矿渣硅酸盐水泥小时产量

$$G_h = \frac{100-p}{100-d-e} \times Q_h = \frac{100-3}{100-5-35} \times 166.67 \times 40\% = 107.78 \text{ t/h}$$

P.S.A42.5R 矿渣硅酸盐水泥日产量

$$G_d = 24 \times G_h = 24 \times 107.78 = 2586.67 \text{ t/d}$$

P.S.A42.5R 矿渣硅酸盐水泥周产量

$$G_d = 168 \times G_h = 168 \times 107.78 = 18106.67 \text{ t/w}$$

式中：p——水泥生产损失 3%~5%，取 p=3%

e——水泥中混合材的掺入量，分别为 10% 和 35%

d——水泥中石膏掺入量 5%

2.2 原燃料干料消耗定额计算

2.2.1 考虑煤灰掺入时，1t 熟料的干生料理论消耗量

$$K_T = \frac{100-S}{100-I} = \frac{100-1.96}{100-34.85} = 1.505 \text{ t/t 熟料}$$

式中： K_T ——干生料的理论消耗定额， t/t 熟料；

S ——煤灰掺入量， 1.96%；

I ——干生料的烧失量， 34.85%。

2.2.2 考虑煤灰掺入时， 1t 熟料的干生料消耗定额

$$K_{\text{生}} = \frac{100K_T}{100-P_{\text{生}}} = \frac{100 \times 1.505}{100-4} = 1.568 \text{ t/t 熟料}$$

式中： K_T ——干生料的消耗定额， t/t 熟料；

$P_{\text{生}}$ ——干生料的生产损失， 取 4%。

1、各种干原料消耗定额

$$k_{\text{原料}} = k_{\text{生}} x$$

式中： x ——干生料中该原料的配合比， %

$$k_{\text{石灰石}} = k_{\text{生}} x = 1.568 \times 81\% = 1.270 \text{ t/t 熟料}$$

$$k_{\text{粘土}} = k_{\text{生}} x = 1.568 \times 17\% = 0.266 \text{ t/t 熟料}$$

$$k_{\text{铁粉}} = k_{\text{生}} x = 1.568 \times 2\% = 0.031 \text{ t/t 熟料}$$

2、干石膏消耗定额

$$\begin{aligned} \text{P.O42.5R: } K_d &= \frac{d}{100-d-e} \times \frac{100}{100-P_d} \\ &= \frac{5}{100-5-10} \times \frac{100}{100-2} = 0.06 \text{ t/t 熟料} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{P. S.A42.5R: } K_d &= \frac{d}{100-d-e} \times \frac{100}{100-P_d} \\ &= \frac{5}{100-5-35} \times \frac{100}{100-2} = 0.08 \text{ t/t 熟料} \end{aligned}$$

式中： K_d ——干石膏的消耗定额， Kg/Kg 熟料；

d 、 e ——分别表示水泥中石膏、混合材的掺入量， %；

P_d ——石膏在生产中的损失量，取 2%。

2.2.3 干混合材消耗定额

$$\begin{aligned} \text{P.O42.5R: } K_e &= \frac{e}{100-d-e} \times \frac{100}{100-P_d} \\ &= \frac{10}{100-5} \times \frac{100}{100-2} = 0.12 \\ \text{P.S.A42.5R: } K_e &= \frac{e}{100-d-e} \times \frac{100}{100-P_d} \\ &= \frac{35}{100-5-35} \times \frac{100}{100-2} = 0.595 \text{ t/t 熟料} \end{aligned}$$

所以，矿渣的量为 0.595 t/t 熟料

式中： K_e ——干混合材消耗定额，t/t 熟料。

2.2.4 烧成用煤消耗定额

$$K_{f1} = \frac{100 \times q}{Q_{DW}^F (100 - P_f)} = \frac{100 \times 3000}{24000 \times (100 - 3)} = 0.129 \text{ t/t 熟料}$$

式中： K_{f1} ——烧成用干煤消耗定额，Kg/kg 熟料；

q ——熟料烧成热耗，KJ/kg 熟料；

P_f ——煤的生产损失，%，取 3%；

Q_{DW}^F ——干煤低位热值，KJ/kg 干煤。

2.2.5 烘干用煤消耗定额

$$\begin{aligned} K_{f2} &= K_{\text{湿}} \times \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} \times \frac{q_{\text{烘}}}{Q_{DW}^g} \times \frac{100}{100 - P_f} \\ &= K_{\text{干}} \times \frac{100}{100 - w_0} \times \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2} \times \frac{q_{\text{烘}}}{Q_{DW}^g} \times \frac{100}{100 - P_f} \\ &= 0.595 \times \frac{100}{100-16} \times \frac{16}{100} \times \frac{4520}{24000} \times \frac{100}{100} = 0.1 \text{ t/t 熟料} \end{aligned}$$

式中： $K_{\text{湿}}$ 、 $K_{\text{干}}$ ——分别表示湿矿渣和干矿渣的消耗定额，t/t 熟料；

w_0 ——湿物料的水分含量，%；

w_1, w_2 ——需烘干的湿物料烘干前后的水分，%；

$q_{\text{烘}}$ ——蒸发 1kg 水的耗热量, KJ/Kg 水;

P_f ——表示生产损失, 取 3%。

2.3 各种干物料消耗定额换算成含天然水分的湿物料消耗定额

$$k_{\text{石灰石}} = \frac{100 \times 1.270}{100 - 3} = 1.309 \text{ t/t 熟料}$$

$$k_{\text{粘土}} = \frac{100 \times 0.266}{100 - 7} = 0.287 \text{ t/t 熟料}$$

$$k_{\text{铁粉}} = \frac{100 \times 0.031}{100 - 4} = 0.033 \text{ t/t 熟料}$$

$$k_{\text{煤灰}} = \frac{100 \times 0.129}{100 - 8} = 0.140 \text{ t/t 熟料}$$

$$k_{\text{烘干煤}} = \frac{100 \times 0.021}{100 - 8} = 0.023 \text{ t/t 熟料}$$

$$P. O42.5R \text{ 石膏用量} = \frac{100 \times 0.060}{100 - 3} = 0.062 \text{ t/t 熟料}$$

$$P. S.A42.5R \text{ 石膏用量} = \frac{100 \times 0.085}{100 - 3} = 0.088 \text{ t/t 熟料}$$

$$P. O42.5R \text{ 石灰石用量} = \frac{100 \times 0.120}{100 - 3} = 0.124 \text{ t/t 熟料}$$

$$P. S.A42.5R \text{ 矿渣用量} = \frac{100 \times 0.595}{100 - 16} = 0.708 \text{ t/t 熟料}$$

2.4 原、燃料需求量计算及物料平衡表的编制

表 1-9 物料平衡表

原料名称	生产损失 (%)	水分含量 (%)	物料平衡表							
			消耗定额 (t/t 熟料)		干料			含天然水分料		
			干料	湿料	小时	日	周	小时	日	周
石灰石	—	3	1.270	1.309	211.68	5080.32	35562.24	228.227	5237.443	36662.103
粘土	—	7	0.266	0.287	44.427	1066.24	7463.68	47.771	1146.495	8025.426
铁粉	—	4	0.031	0.033	5.227	125.44	878.08	5.44	130.667	914.667
生料	—	—	1.567	1.629	261.33	6272	43904			
石膏	2	3	0.06	0.062	6	144.06	1008.40	6.19	148.51	1039.59
			0.085	0.088	5.67	136.05	952.38	5.84	140.26	981.84
混合材	—	石灰石	0.12	0.124	12	288.12	2016.81	12.38	297.03	2079.18
		矿渣	0.595	0.709	39.68	952.38	6666.67	47.24	1133.79	7936.51
熟料	—	—	—	—	166.67	4000	28000	—	—	—
水泥	3	—	—	—	114.12	2738.82	19171.76	—	—	—
		—	—	—	107.78	2586.67	18106.67	—	—	—
烧成用煤	3	8	0.129	0.140	21.48	515.46	3608.25	23.34	560.29	3922
烘干用煤	3	8	0.021	0.023	3.47	83.38	583.69	3.78	90.63	634.44
用煤合计	3	8	0.150	0.163	24.95	598.85	4191.94	27.12	650.92	4556.45

注：

- 1、窑熟料产量 4000t/d；熟料热耗 3000Kj/Kg。
- 2、P.O42.5R：散装：袋装=7:3；P.S.A42.5R：散装：袋装=7:3。
- 3、烧成用煤分为：窑头：窑尾分解炉=4:6。

第 3 章 全厂主机平衡计算及选型

3.1 车间工作制度的确定

拟订主机每周运转小时数及工作制度如 3-1 所示：

表 3-1 工厂主机每周工作制度

主机名称	主机运转小时数(h)	工作制度
石灰石破碎机	$6 \times 7 \times 2 = 84$	每周工作 6 天，每天 2 班，每班 7 小时
生料磨	$7 \times 8 \times 3 - 4 = 164$	每周工作 7 天，每天 3 班，每班 8 小时，每周检修 4 小时
回转窑	$7 \times 8 \times 3 = 168$	每周工作 7 天，每天 3 班，每班 8 小时
煤磨	$7 \times 8 \times 3 - 14 = 154$	每周工作 7 天，每天 3 班，每班 8 小时，每周检修 14 小时
水泥磨	$7 \times 8 \times 3 - 14 = 154$	每周工作 7 天，每天 3 班，每班 8 小时，每周检修 14 小时
辊压机	$7 \times 8 \times 3 - 14 = 154$	每周工作 7 天，每天 3 班，每班 8 小时，每周检修 14 小时
包装机	$6 \times 6 \times 2 = 72$	每周工作 6 天，每天 2 班，每班 7 小时

3.2 主机选型

3.2.1 石灰石破碎机的选型

$$\text{石灰石破碎机要求小时产量: } G_h = \frac{G_w}{H} = \frac{36662}{84} = 436.45 \text{ t/h}$$

选择 KHD 公司生产的 HDS1600×1760 双转子单段锤式破碎机，最大进料粒度 1600mm，最大给料量 3100Kg，平均台时产量为 550t，出料粒度 25mm，驱动电机功率 2×420KW。

$$\text{破碎机实际运转小时数为: } H_0 = \frac{G_H}{nG_{hl}} H = \frac{436.45}{1 \times 550} \times 84 = 66.6 \text{ h}$$

3.2.2 生料磨的选型

$$\text{生料磨要求小时产量: } G_h = \frac{G_w}{H} = \frac{43904}{164} = 267.71 \text{ t/h}$$

由此，选取型号为 Atox45 立磨，台时产量为：340 t/h

$$\text{生料磨实际运转小时数为: } H_0 = \frac{G_H}{nG_{hl}} H = \frac{267.71}{1 \times 340} \times 164 = 129.1 \text{ h}$$

实际运转小时数小于要求工作小时数，能保证水泥厂正常运转

3.2.3 窑的选型

$$1、\text{窑的有效内径 } D_i = 4.3 \times \sqrt[3]{\frac{G}{g_v}} = 4.3 \times \sqrt[3]{\frac{166.67}{155}} = 4.41 \text{ m}$$

式中：G——设计要求熟料的产量

g_v ——窑单位容积产量，对于窑径大于4.5m 的预分解窑，单位容积产量在110~160kg/m³·h之间，取 $g_v=130\text{kg/m}^3 \cdot \text{h}$

$$2、\text{窑的公称直径 } D = D_i + 2\delta = 4.36 + 2 \times 0.150 = 4.7 \text{ m}$$

$$3、\text{窑的长度 } L = (15 \sim 20)D, \text{ 选定系数为 } 16,$$

根据上面所述，并参考宁国厂 4000t/d 熟料生产线，设计回转窑规格为：φ 4.7×75m

3.2.4 煤磨的选型

本设计中煤磨采用立磨煤磨系统。

$$\text{煤磨要求小时产量: } G_h = \frac{G_w}{H} = \frac{4191.94}{154} = 27.22 \text{ t/h}$$

由此，选择型号为：Atox20 立式煤磨一台，生产能力 30 t/h

$$\text{煤磨实际运转小时数为: } H_0 = \frac{G_H}{nG_{hl}} H = \frac{27.22}{1 \times 30} \times 154 = 139.7 \text{ h}$$

实际运转小时数小于要求工作小时数，能保证水泥厂正常运转。

3.2.5 水泥磨的选型

采用磨外预粉磨系统。

预粉磨是开流和闭路系统中应用较多的工艺。其作用是尽可能减小入磨粒度，为提高粉磨产量和细度创造条件，相当于将球磨机的第一仓的粗粉磨过程移至磨外由细碎工序完成。因此，磨内研磨体德平均球径减小，大球施加给球磨机德过大应力得以降低，有利于提高粉磨的效率，降低电耗。

$$\text{水泥磨要求小时产量: } G_h = \frac{G_w}{H} = \frac{19171.76}{154} = 124.49 \text{ t/h(P.O42.5)}$$

$$G_h = \frac{G_w}{H} = \frac{18106.67}{154} = 117.58 \text{ t/h(P.S.A42.5)}$$

采用成都建材设计研究院的 VDG140-50 规格 $\phi 1400\text{mm} \times 500\text{mm}$ 混合型辊压机, 通过量 220~250t/d, 配一 V 型 STATOPOL C24-11/10C 选粉机, 旋风筒规格 2- $\phi 3550\text{mm}$ 球磨机采用两台沈阳水泥机械有限公司生产的 $\phi 4.2 \times 13\text{m}$ 水泥磨, 每台磨小时产量 75~150t/h, 转速 15.75r/min, 两台磨的总产量为 150~300 吨

$$\text{球磨实际运转小时数为: } H_0 = \frac{G_H}{nG_{hl}} H = \frac{124.49}{130} \times 154 = 147.5 \text{ h (P.O42.5)}$$

$$H_0 = \frac{G_H}{nG_{hl}} H = \frac{117.58}{130} \times 154 = 139.3 \text{ h (P.S.A42.5)}$$

3.2.6 包装机的选形

本设计采用回转式包装机。包装机的要求小时产量:

$$G_H = \frac{G_w}{H} = \frac{(17154.48 \times 30\% + 18107.24 \times 30\%)}{72} = 146.92 \text{ t/h}$$

由此, 选择型号为丹麦 F.L.S 公司生产的 RA-12 回转式包装机, 台时产量 150 t/h。

$$\text{包装机实际运转小时数为: } H_0 = \frac{G_H}{nG_{hl}} H = \frac{146.92}{1 \times 150} \times 72 = 70.5 \text{ h}$$

3.3 主机平衡表

表 3-2 主机平衡表

主机名称	主机型号	台数	周平衡量 t/w	要求小时产量 t/h	生产能 力 t/h	周运转时 间 h/w	实际 时间 h/w
破碎机	HDS1600×1760	1	36662.1	436.45	350	84	66.6
生料磨	Atox42.5	1	43904	267.71	340	164	129.1
回转窑	$\phi 4.7 \times 75$	1	28000	166.67	166.67	168	168
煤磨	Atox20	1	4191.94	27.22	30	154	139.7
水泥磨	$\phi 4.2 \times 13$	2	19171.76	124.49	130	154	147.5
			18106.67	117.58			139.3
辊压机	VDG140-50	1	37278.43	242.07	250	154	149.1
包装机	RA-12	1	11183.53	146.92	150	72	70.5

第 4 章 储库计算

4.1 确定各物料的储存期以及物性参数

表 4-1 堆场存储物料的存储期及物性参数

物料名称	石灰石	粘土	铁粉	煤	石膏	混合材	
						石灰石	矿渣
储存周期	6	10	15	10	12	10	10
物料每天用量	5237.4	1146.5	130.7	650.9	288.8	297	1133.8
储存期物料量	31424	11465	1960	6509	3466	2970	11338
堆积密度	1.45	1.4	1.5	0.9	1.3	1.45	0.62
休止角	30	40	35	27	35	30	45

表 4-2 库存储物料的存储期及物性参数

物料名称	生料	熟料	水泥	
			P.I42.5	P.S.A42.5
储存周期	2	6	7	7
物料每天用量	6272	4000	2738.8	2586.7
储存期物料量	12544	24000	19171.6	18106.9
堆积密度	1.3	1.45	1.45	1.4
休止角	35	33	30	30

4.2 各矩形预均化堆场

4.2.1 石灰石预均化堆场

本设计采用矩形堆场，如果采用圆形预均化堆场，其堆取料机的轨道直径将超过 100m，厂房直径则更大，这对于堆取料机的回转桥架与厂房的结构设计和施工都不经济。而且圆堆场在生产管理与调度上比长堆场复杂。矩形堆场其均化效率要优于圆形堆场，且采用矩形堆场在将来工厂扩大生产时只需加长堆场长度即可，不需要设置一个新的堆场，有利于企业未来发展。

《中国水泥现代技术和装备》P368 堆场

$$\begin{aligned}\text{总堆料量: } Q_{\text{总}} &= K \times Q \times d \\ &= 1.1 \times 31424 = 34566.4\end{aligned}$$

式中: $Q_{\text{总}}$ ——表示堆场的总物料量

K ——表示堆场系数, 取 1.0~1.2

Q ——表示物料日用量

d ——表示储存周期

$$\text{堆料长度: } L = C \sqrt[3]{\frac{4Q_{\text{总}}}{(C-0.4764)\gamma \text{tg}\alpha}} = 5.0 \times \sqrt[3]{\frac{4 \times 31424}{(5-0.4764) \times 1.45 \times \text{tg}30^\circ}} = 161 \text{ m}$$

$$\text{堆料宽度: } B = \frac{L}{C} = \frac{161}{5} = 32.2 \text{ m}$$

式中: L —堆料的长度, m;

C —堆料的长度比系数: $C=3.5\sim6$, 取 $C=5$;

γ —物料的容重, t/m^3 ;

B —堆料的宽度, m;

$$\text{料堆的高度: } H = \frac{B \text{tg}\alpha}{2} = \frac{32.2 \times 0.577}{2} = 9.3 \text{ m}$$

石灰石堆场在采用矩形堆场时, 为了保证连续化生产作业, 须设置两个料堆, 一个进行堆料, 一个进行取料。两个料堆的布置形式可采用平行布置或直线布置。本设计采用直线布置, 两料堆间留有 3m 间距。此外, 在轨道外面须留有 4m 的过道, 所以最终确定石灰石长方形预均化堆场的规格为: 170×75m。采用悬臂式堆料机堆料, 悬臂式刮板取料机取料。

4.2.2 其他各物料矩形堆场

$$\text{粘土: } Q_{\text{总}} = K \times Q \times d = 1.1 \times 11465 = 12611.5 \text{ t}$$

$$\text{铁粉: } Q_{\text{总}} = K \times Q \times d = 1.1 \times 1960 = 2156 \text{ t}$$

$$\text{煤: } Q_{\text{总}} = K \times Q \times d = 1.1 \times 6509 = 7159.9 \text{ t}$$

$$\text{石膏: } Q_{\text{总}} = K \times Q \times d = 1.1 \times 3466 = 3812.6 \text{ t}$$

$$\text{石灰石: } Q_{\text{总}} = K \times Q \times d = 1.1 \times 2970 = 3267 \text{ t}$$

$$\text{由 } V_{\text{料}} = B^2 \times \text{tg}\alpha \times (0.25l - 0.1191B)$$

$$Q_{\text{总}} = V_{\text{料}} \gamma$$

则粘土的 $Q_{\text{总}} = B^2 \times tg\alpha \times (0.25l - 0.1191B) \gamma$

式中：B ——QGC200/23.5 悬臂式刮板取料机，臂长 24m，即料宽；

γ ——物料的堆积密度。

$$\text{即 } 24^2 \times tg35^\circ \times (0.25l - 0.1191 \times 24) \times 2.3 = 12611.5$$

$$\text{解得 } l = 72. \text{ m}$$

铁粉： $Q_{\text{总}} = B^2 \times tg\alpha \times (0.25l - 0.1191B) \gamma$

$$= 24^2 \times tg35^\circ \times (0.25l - 0.1191 \times 24) \times 1.5 = 2156$$

$$\text{解得 } l = 27.7 \text{ m}$$

煤粉： $Q_{\text{总}} = B^2 \times tg\alpha \times (0.25l - 0.1191B) \gamma$

$$= 24^2 \times tg27^\circ \times (0.25l - 0.1191 \times 24) \times 0.9 = 7159.9$$

$$\text{解得 } l = 121. \text{ m}$$

石膏： $Q_{\text{总}} = B^2 \times tg\alpha \times (0.25l - 0.1191B) \gamma$

$$= 24^2 \times tg35^\circ \times (0.25l - 0.1191 \times 24) \times 1.3 = 3812.6$$

$$\text{解得 } l = 41 \text{ m}$$

石灰石： $Q_{\text{总}} = B^2 \times tg\alpha \times (0.25l - 0.1191B) \gamma$

$$= 24^2 \times tg30^\circ \times (0.25l - 0.1191 \times 24) \times 1.45 = 3267$$

$$\text{解得 } l = 39 \text{ m}$$

各种物料堆料高度

$$\text{粘土： } H = \frac{Btg\alpha}{2} = \frac{24 \times tg40^\circ}{2} = 10.07 \text{ m}$$

$$\text{铁粉： } H = \frac{Btg\alpha}{2} = \frac{24 \times tg35^\circ}{2} = 8.40 \text{ m}$$

$$\text{煤： } H = \frac{Btg\alpha}{2} = \frac{24 \times tg27^\circ}{2} = 6.11 \text{ m}$$

$$\text{石膏： } H = \frac{Btg\alpha}{2} = \frac{24 \times tg35^\circ}{2} = 8.40 \text{ m}$$

$$\text{石灰石: } H = \frac{B \tan \alpha}{2} = \frac{24 \times \tan 27^\circ}{2} = 6.93 \text{ m}$$

堆料机型号: DB300/15 侧式悬臂堆料机

取料机型号: QGC200/23.5 侧式悬臂刮板取料机

矿渣堆场

$$\text{矿渣: } Q_{\text{总}} = K \times Q \times d = 1.1 \times 11338 = 12471.8$$

$$\begin{aligned} \text{矿渣: } Q_{\text{总}} &= B^2 \times \tan \alpha \times (0.25l - 0.1191B) \gamma \\ &= 37^2 \times \tan 45^\circ \times (0.25l - 0.1191 \times 24) \times 0.62 = 12471.8 \end{aligned}$$

$$\text{解得 } l = 71 \text{ m}$$

4.2.3 生料均化库

生料均化库是新型干法水泥生产工艺的重要设施之一,它既是一个生料均化设施又是一个储存库,在生料磨和窑之间起着缓冲和平衡作用。它可以把化学成分波动较大的出磨生料经过储存和均化源源不断地向窑系统供应合格生料。

目前国内使用较多的库型是 MF 生料均化库。MF 均化库是 Multi—Flow. Silo(多股流库)的简称,是德国伯力鸠斯公司 70-年代开发的重力连续式生料均化库。MF 库自身的建设费用相对较低。但由于 MF 库生料均化系数 H 在 5~7 之间 MF 库的出库生料不能直接送入窑尾预热器,需经过生料计量、二次均化及输送系统,使均化工艺变得较为复杂。与直接入窑工艺相比, MF 均化库系统增加了二次均化仓、仓底卸料装置、充气槽系统、罗茨风机、布袋除尘器、提升输送设备及相应的土建、安装工程,以 1250t/d 规模生产线为例,上述设施需增加投资约 50 万元。耗电、折旧、维修等年费用达 25 万元。相比而言, IBAU、CF 等库型在综合技术经济指标上要优于 MF 库。

CF 库是由丹麦史密斯公式设计制造,其采用单点下料方式,在有 6×7 共 42 个充气区以及 7 个卸料区。CF 库库底充气程序控制系统由 3 台罗茨风机分别轮换对 3 个卸料区的三角形充气区充气,使 3 个卸料口的生料以不同的速度卸出并混合在一起,7 个卸料区的 42 个三角形充气区按规定时序周而复始依次轮流充气卸料,每单位时间内只有 3 个卸料区卸料。根据实际情况可依次调节卸料时间和各区卸料量的比例,从而达到良好的均化效果。本设计将采用 CF 生料均化库系统

取 $H/D=2$, $n=1$ 个; 由 $G = \frac{n\gamma\pi D^2 H}{4}$ 得

$$D = \sqrt[3]{\frac{2G}{n\gamma\pi}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 12544}{1 \times 1.3 \times 3.14}} = 18.3 \text{ m}$$

选取直径 $D=20\text{m}$, 则 $H=2D=40\text{m}$

储库的有效容积按装到距库顶 2m 计算, 因此选规格为 $\varnothing 20 \times 42\text{m}$ 生料均化库

$$\text{有效储量: } G_{\text{单库}} = \frac{n\gamma\pi D^2 H}{4} = \frac{1.3 \times 3.14 \times 20^2 \times 40}{4} = 16328 \text{ t}$$

$$\text{实际储存期: } d = \frac{nG_{\text{单库}}}{G_i} = \frac{1 \times 16328}{6272} = 2.6 \text{ d}$$

4.2.4 熟料储存库

采用圆柱形高库。

选取 $H/D=2$, $n=2$ 个; 由 $G = \frac{n\gamma\pi D^2 H}{4}$ 得

$$D = \sqrt[3]{\frac{2G}{n\gamma\pi}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 24000}{2 \times 1.45 \times 3.14}} = 17.4 \text{ m}$$

选取直径 $D=18\text{m}$, 则 $H=2D=36\text{m}$

储库的有效容积按装到距库顶 2m 计算, 因此选规格为 $\varnothing 18 \times 36\text{m}$ 熟料库

$$\text{有效储量: } G_{\text{单库}} = \frac{n\gamma\pi D^2 H}{4} = \frac{1.45 \times 3.14 \times 18^2 \times 36}{4} = 13277 \text{ t}$$

$$\text{实际储存期: } d = \frac{nG_{\text{单库}}}{G_i} = \frac{2 \times 13277}{4000} = 6.6 \text{ d}$$

4.2.5 水泥储存库

常用带减压仓水泥库的规格和容量如表 4-3 所示

P.O42.5、P.S.A42.5 水泥要求储量分别为 19171.6t、18106.9t, 为了便于水泥厂生产时的调动和调配, 以及方便工厂的布置, 两种水泥同选用 $\varnothing 15 \times 32\text{m}$ 规格的水泥库。

$$\text{P.O42.5 所需圆库的数量: } N = \frac{Q}{G_{\text{单库}}} = \frac{19171.6}{5300} = 3.6, \text{ 进位取 } 4$$

$$\text{P.S.A42.5 所需圆库的数量: } N = \frac{Q}{G_{\text{单库}}} = \frac{18106.9}{5300} = 3.4, \text{ 进位取 } 4$$

所以两种水泥分别采用 4 个 $\varnothing 15 \times 32\text{m}$ 的水泥库

$$\text{P.O42.5 实际储存期: } d = \frac{nG_{\text{单库}}}{G_i} = \frac{4 \times 5300}{2738.8} = 7.7 \text{ d}$$

$$\text{P.S.A42.5 实际储存期: } d = \frac{nG_{\text{单库}}}{G_i} = \frac{4 \times 5300}{2588.7} = 8.2 \text{ d}$$

表 4-3 带减压仓水泥库的规格和容量

库内径 (m)	库高度 (m)	混合室内 径 (m)	库底斜 度 (°)	库容量 (t)	罗茨风机			
					型号	风量 (m ³ /min)	风压 (kPa)	功率 (kW)
$\varnothing 10$	31.5	2.4	12°	2590	L20	10	50	17
$\varnothing 12$	32	3.5	15°	3680	MJL41	7.6	60	15
$\varnothing 15$	32	5.4	10°	5300	D22×32	15	50	22
$\varnothing 15$	36	5.4	10°	6320	MJL42	16.2	60	30
$\varnothing 18$	40	5	10°	9800	ML32	20	70	45
$\varnothing 18$	43	5	10°	10000	SD36×28	20	70	40

注：上表取自《新型干法水泥厂工艺设计手册》P316 表 7-21

4.2.6 混合材库（矿渣库、石灰石库、石膏库）

储库采用圆柱形高库。

注：以下取自《新型干法水泥厂工艺设计手册》P316 表 7-20

储存矿渣：选用 2 个 $\varnothing 8 \times 20\text{m}$ 库

有效储量： $G_{\text{单库}} = 0.62 \times 930 = 576.6 \text{ t}$

$$\text{实际储期: } d = \frac{nG_{\text{单库}}}{G_i} = \frac{2 \times 576.6}{1133.8} = 1.0 \text{ d}$$

储存石膏: 选用 $\varnothing 5.5 \times 14\text{m}$ 库

$$\text{有效储量: } G_{\text{单库}} = 1.3 \times 270 = 351 \text{ t}$$

$$\text{实际储期: } d = \frac{nG_{\text{单库}}}{G_i} = \frac{1 \times 351}{288.8} = 1.2 \text{ d}$$

储存石膏: 选用 $\varnothing 5.5 \times 14\text{m}$ 库

$$\text{有效储量: } G_{\text{单库}} = 1.45 \times 270 = 391.5 \text{ t}$$

$$\text{实际储期: } d = \frac{nG_{\text{单库}}}{G_i} = \frac{1 \times 391.5}{297} = 1.3 \text{ d}$$

4.2.7 生料配料库

表 4-4 物料储存时间及储存量

物料名称	石灰石	粘土	铁粉
储存时间 (h)	4	4	36
每小时物料消耗量 (t/h)	218.2	47.8	5.4
储存期物料总量 (t)	872.8	191.2	194.4

1、石灰石库

选取 $H/D=2$, $n=2$ 个; 由 $G = \frac{n\gamma\pi D^2 H}{4}$ 得

$$D = \sqrt[3]{\frac{2G}{n\gamma\pi}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 872.8}{2 \times 1.45 \times 3.14}} = 5.8 \text{ m}$$

选取直径 $D=6\text{m}$, 则 $H=2D=12\text{m}$

储库的有效容积按装到距库顶 2m 计算, 因此选规格为 $\varnothing 6 \times 14\text{m}$ 储库

$$\text{有效储量: } G_{\text{单库}} = \frac{n\gamma\pi D^2 H}{4} = \frac{1.45 \times 3.14 \times 6^2 \times 12}{4} = 491.7 \text{ t}$$

$$\text{实际储存期: } d = \frac{nG_{\text{单库}}}{G_i} = \frac{2 \times 491.7}{218.2} = 4.5 \text{ h}$$

2、粘土库

选取 $H/D=2$, $n=1$ 个; 由 $G = \frac{n\gamma\pi D^2 H}{4}$ 得

$$D = \sqrt[3]{\frac{2G}{n\gamma\pi}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 191.2}{1 \times 1.4 \times 3.14}} = 4.4 \text{ m}$$

选取直径 $D=5\text{m}$, 则 $H=2D=10\text{m}$

储库的有效容积按装到距库顶 2m 计算, 因此选规格为 $\phi 5 \times 12\text{m}$ 储库

$$\text{有效储量: } G_{\text{单库}} = \frac{n\gamma\pi D^2 H}{4} = \frac{1.4 \times 3.14 \times 5^2 \times 10}{4} = 274.75 \text{ t}$$

$$\text{实际储存期: } d = \frac{nG_{\text{单库}}}{G_i} = \frac{274.75}{47.8} = 5.7 \text{ h}$$

3、铁粉库

选取 $H/D=2$, $n=1$ 个; 由 $G = \frac{n\gamma\pi D^2 H}{4}$ 得

$$D = \sqrt[3]{\frac{2G}{n\gamma\pi}} = \sqrt[3]{\frac{2 \times 194.4}{1 \times 1.5 \times 3.14}} = 4.4 \text{ m}$$

选取直径 $D=5\text{m}$, 则 $H=2D=10\text{m}$

储库的有效容积按装到距库顶 2m 计算, 因此选规格为 $\phi 5 \times 12\text{m}$ 储库

$$\text{有效储量: } G_{\text{单库}} = \frac{n\gamma\pi D^2 H}{4} = \frac{1.5 \times 3.14 \times 5^2 \times 10}{4} = 294.4 \text{ t}$$

$$\text{实际储存期: } d = \frac{nG_{\text{单库}}}{G_i} = \frac{274.75}{5.4} = 54.5 \text{ h}$$

4.3 储库一览表的编制

表 4-5 储库一览表

储库名称		规格(m)	数量(个)	库容量(吨/个)	实际储存期
石灰石预均化堆场（矩形）		170×75	1	2×34566.4	6d
矩形预均化堆场	粘土堆场	73×24	1	11465	10d
	铁粉堆场	28×24	1	1960	15d
	煤堆场	122×24	1	6509	10d
	矿渣堆场	71×37	1	11338	10
	石膏堆场	41×24	1	3466	12
	石灰石堆场	39×24	1	2970	10
生料均化库		Φ 20×42	1	16328	2.6d
混合材库	石灰石库	Φ 5.5×14	1	391.5	1.3d
	矿渣库	Φ 8×20	2	576.6	1.0d
石膏库		Φ 5.5×14	1	351	1.2d
熟料库		Φ 18×38	2	13277	6.6d
水泥库	P.O42.5	Φ 15×32	4	5300	7.7d
	P.S.A42.5	Φ 15×32	4	5300	8.2d
生料配料库	石灰石库	Φ 6×14	2	491.7	4.5h
	粘土库	Φ 5×12	1	274.75	5.7h
	铁粉库	Φ 5×12	1	294.4	54.5h

第 5 章 生料车间工艺设计

5.1 生料磨流程和设备发展情况

水泥生料制备系统的工艺和装备技术，在近 10 多年来一直处于快速发展之中，特别是近几年新型干法水泥生产技术的广泛应用，发展进程显著加快，主要表现为：

一是粉磨设备由过去的球磨机为主，发展为高效率的立磨、辊压机等多种形式并用，生料制备过程的高产低耗，在许多水泥厂已达到先进水平；

二是新设备、新技术的应用，使生料粉磨系统工艺更加丰富和完善。立磨机烘干、粉磨、选粉的一体化，适应于高含水率的立式磨粉磨，辊压机的多种工艺组合，以及对悬浮预热器窑、预分解窑的废气做烘干热源的利用等等，都促进了生料制备技术的发展；

三是操作控制过程的自动化普遍形成。磨机操作系统的自动控制，原料分析、检测的自动控制，配料、计量的自动控制等，使我国水泥生产自动化的整体水平越来越高；

四是生料粉磨装备的大型化，不断满足了水泥生产规模的大型化需求。目前，国产立式磨、辊压机的单产能力已经可以与 5000t/d，甚至更大规模的生产线相配套。

5.2 选取粉磨流程及粉磨设备所考虑的因素

水泥工业的原料的物理、化学特性变化很大，而各种不同的粉磨系统对原料都有一定的适应范围和不同的优缺点。不同规模的工艺线对粉磨工艺要求也有所差别。为此，必须从原料和工艺的实际情况出发来选择粉磨系统。

1、入磨物料的性质

物料的性质主要包括水分、粒度、易磨性和磨蚀性，也要注意石灰石原料中燧石的影响。

2、粉磨产品的细度要求

所选的粉磨流和设备尽可能便于控制粉磨产品的细度。

3、生料粉磨系统的要求小时产量。由主机平衡计算确定，所选生料磨的生产能力，应满足这一要求。

4、粉磨电耗

所选的粉磨流程和设备应尽可能符合节省电耗的要求。

5、废气余热利用的可能性

对于干法生料磨和煤磨来说,应考虑尽可能利用废气余热来烘干原料或燃料,使生料粉磨或烘干作业同时进行,以节约烘干热能,节省烘干设备,简化生产流程。

6、操作的可靠性和自动控制以及设备的耐磨性能。

7、所选的生料粉磨设施应力求占地面积小,需要空间小和基建投资低。

实际生产中,应根据具体条件进行技术经济综合分析,选择最合适的生料粉磨流程和设备。

在原料粉磨系统中有立式磨系统、中卸磨系统、尾卸磨系统和风扫磨系统。在选择粉磨系统时,必须对原料进行加工实验和技术经济比较,才能正确地选择一个合适的粉磨系统。

5.3 立式磨机与其他粉磨系统的比较

立磨与其他粉磨设备比较,有以下优点:

(1) 在粉磨理论上,立磨采用了非完全限定矿床挤压粉碎的原理,与球磨机相比,其粉磨效率为球磨机的 165% , 节约电耗 30% 左右。

(2) 立磨对粉磨物料适应性强,在水泥工业可用于粉磨各种原燃料,如石灰石、砂岩($\text{SiO}_2 > 90\%$)、煤、水泥熟料、高炉矿渣等。无论其易磨性、磨蚀性有多大差异,通过对立磨内部结构调整和合理操作,均能生产不同细度、比表面积的合格产品。

(3) 立磨设备工艺性能优越,单机产量大,操作简便,能粉磨入料粒度大、水分高的原料,兼中碎、烘干、选粉的功能,设备运转率高、噪音小、震动小、密闭性能好、无扬尘,金属磨损比球磨机低,对成品质量控制快捷,更换产品灵活,可实行智能化、自动化控制等优点。

在国外新型干法水泥厂的建设中,立磨已广泛用于生料和煤的粉磨,其设备占有率超过90% 以上。最近10年来,立磨在技术上有很大的改进,开发并研制了第三代立磨,成功地用于水泥和高炉矿渣的高细粉磨,预计在最近三、五年内将大量用于水泥和矿渣的高细粉磨。

5.4 Atox 磨简介

20世纪80年代末丹麦史密斯公司采用非凡公司MPS立磨专利制造水泥原料立式辊磨,而磨煤MPS立磨(用于电站)没有得到非凡公司许可证,转向购买德国Babcock

公司的专利。在MPS专利期满后，史密斯公司开发出自己的立磨名为Atox。该辊磨可以看成是MPS辊磨的变种，像MPS磨始祖那样，Atox磨也采用MPS磨三辊系统(图5-2)，磨辊是装在固定于磨中心星形或三角形支架的轴承中运行。

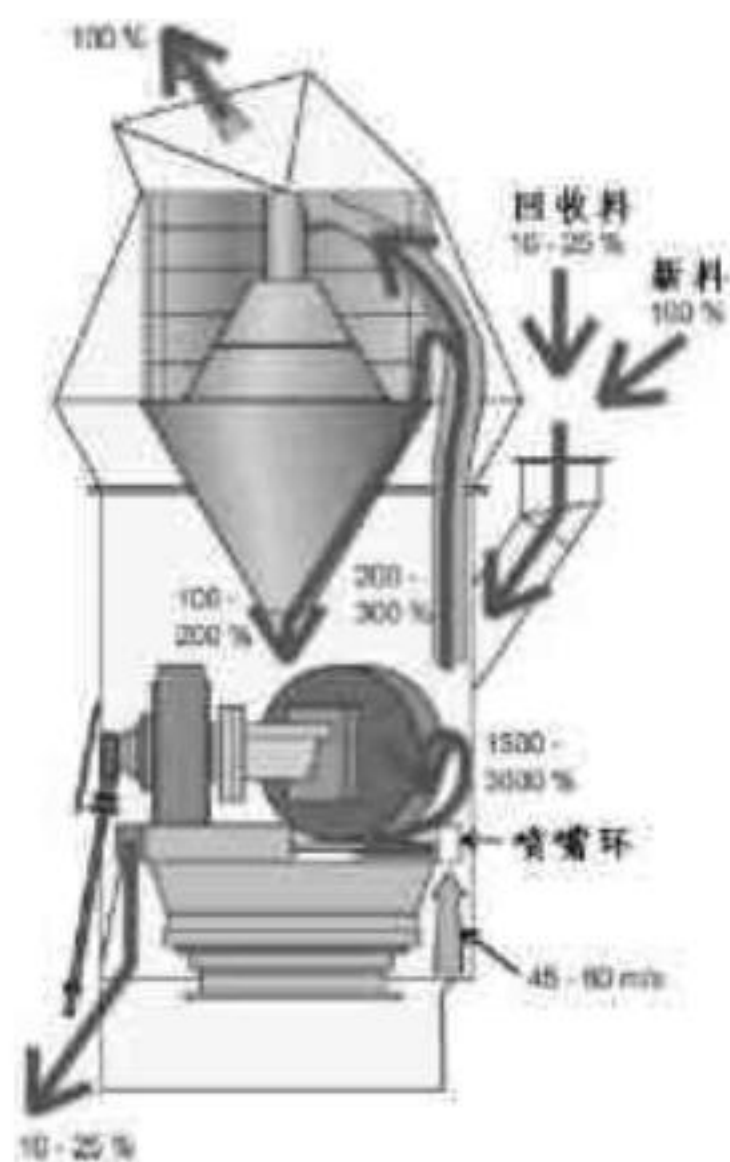


图 5-1 史密斯 Atox 立磨

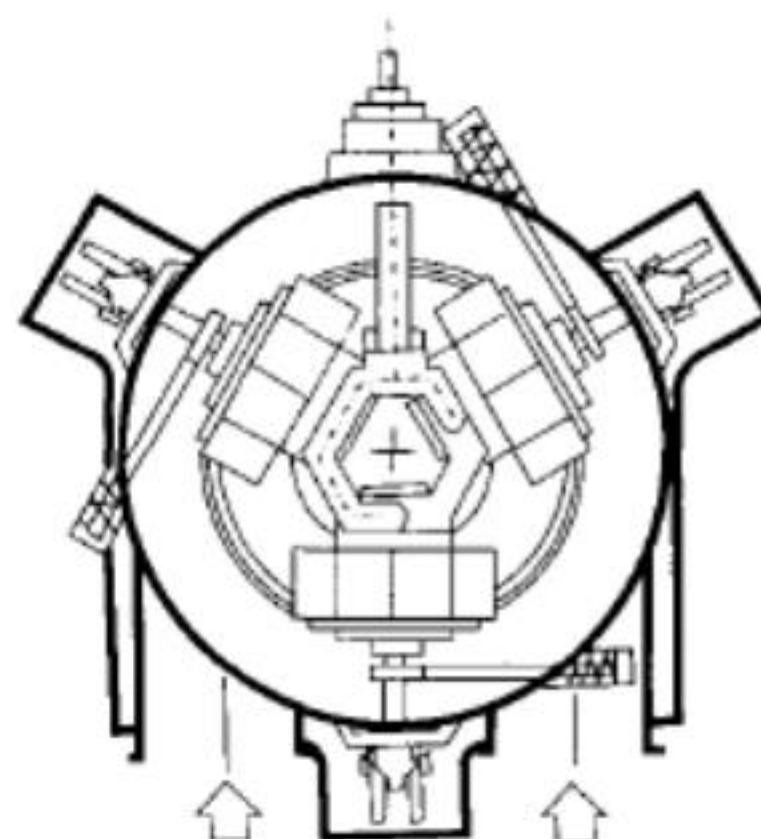


图 5-2 Atox 立磨三辊

Atox磨三角形支架安置方式设枢轴，正好用3根水平磨辊轴形成支架，每根轴与另一根轴相隔120°。作为3个磨辊导向装置。这些轴正好通过磨辊通向终端连接件。这种固有刚性的三辊星形装置静止地停留在磨盘水平粉磨层上形成三点支承系统。这种刚性三点系统允许每个磨辊和粉磨表面处的衬板接触。

三辊装置处于粉磨室的固定位置上。这些磨辊仅围绕他们自己的轴回转但不围绕磨盘中心运动(图5-2)。水平固定拉杆切向锚固在磨机室内，承受回转力矩并把力矩传到壳体上。这些拉杆缚于磨辊轴的连接件上，同时把磨轴拉向壳体。拉向斜下方的拉杆是液压油缸连接件的一部分，拉着3个磨辊向下压向粉磨层，也缚于3根轴的连接件上。由于中心星形架和3个磨辊是刚性连接，在磨机启动时整个磨辊装置可以提升几厘米，这时可利用液压气动弹簧系统中油缸中的压力去提升。这样做可免除辅助传动装置。每个磨辊垂直运动压向粉磨层时受另外2个磨辊的影响，因为3个磨辊是互相刚性连接的一个粉磨装置。

5.5 磨机规格计算

根据原料易磨性 (TM_F 越大，则易磨性越好)，由于本厂的原料属于中等易磨难度，取 $TM_F=1$ ，根据上表，产品细度 R0.08mm12%，(相当于 R0.09mm10%)，易磨性指数为 1 所对应的单位电耗为 7.5KW。

《水泥工业粉磨工艺技术》P227

表 5-1 TM_F 值与单位电耗 $Rie(kWh/t)$ 的关系

产品细度 R90 μm %	6	8	10	12	14	16
TM_F 值	0.8	10.7	10.0	9.4	8.8	8.4
	0.9	9.6	8.9	8.3	7.9	7.4
	1.0	8.6	8.1	7.5	7.1	6.7
	1.1	7.8	7.4	6.8	6.5	6.1

故立式磨的需用功率 N_0 为：

$$N_0 = 7.5 \times 267.71 = 2007.82 \text{ KW}$$

立式磨的配用功率 N 为：

$$N = (1.15 \sim 1.2)N_0 = (1.15 \sim 1.2) \times 2007.82 = 2308.99 \sim 2409.38 \text{ KW}$$

根据《水泥厂立式辊磨的选型》，初步可选 Atox45 立磨

生产能力：340t/h

入料粒度：≤40mm

水分（%）入磨/出磨：≤20/≤1

磨机传动功率：2530KW

磨盘直径 D：Φ4500mm

磨辊直径 D_R ：0.6D (2700mm)

磨辊宽度 B：0.2D (900mm)

磨盘转速：26.4r/min

磨机风量：450000Nm³/h

100℃时磨内风量：614835m³/h

单位风量：1.34Nm³/kg

假想风速：7.86Nm/s

选粉机功率：186KW

选粉机转速：76 r/min

注：以上数据查自《水泥厂立式辊磨的选型四》及《粉磨工艺及设备》P61

5.6 相关参数核算

以下公式选自《粉磨工艺及设备》P59～P60，及《水泥生产工艺计算手册》P138～P141

1、功率：

$$N = KD^{2.5}$$

$$= 63.9 \times 4.5^{2.5} = 2744.94 \text{ KW}$$

式中：N ——表示磨机功率，KW；

D ——磨盘公称直径，m

K ——与立磨型号有关，Atox45 为 63.9

《粉磨工艺及设备》P60

2、转速：

$$n = C \times \frac{1}{\sqrt{D}}$$

$$= 56 \times \frac{1}{\sqrt{4.5}} = 26.4 \text{ r/min}$$

式中：n ——表示立磨磨盘转速，r/min

D ——磨盘公称直径，m

C ——与立磨型号有关，Atox45 为 56

《粉磨工艺及设备》P59

3、粉磨能力

按规格计算

$$G_m = K \times D^{2.5} = 8.0 \times 4.5^{2.5} = 343.65 \text{ t/h}$$

式中：G_m ——表示立磨粉磨能力，t/h；

D ——磨盘公称直径，m；

K ——与立磨型号、选用压力以及被研磨物料性能有关；Atox42.5 取 8.0

按易磨性指数计算。

$$G_m = \frac{N_0}{W} = \frac{N_0}{17.69 - 10.4MF}$$

$$= \frac{2007.82}{17.69 - 10.4 \times 1} = 275 \text{ t/h}$$

式中：N₀ ——立磨需用功率，KW；

W ——物料的单位功耗，KW·h/t；

MF ——物料的辊磨易磨性指数，测试值 MF > 1，表示物料易磨。

4、磨机烘干用风

$$Q_a = \frac{G}{C} \times k_f = \frac{267.71 \times 10^3}{0.6} \times 1.0 = 446183.33 \text{ m}^3/\text{h}$$

式中：G——为磨机的产量，t/h；

C——为料气比，取 $0.5 \sim 0.7 \text{ g/m}^3$ ；

k_f ——为循环风降低率。

式中： ω ——粉磨腔截面风速($3 \sim 6 \text{ m/s}$)，或盘面风速($6 \sim 12 \text{ m/s}$)；

s——表示磨盘面积， m^2 。

5、磨机料层厚度

$$h = 0.02D_R \times 10^3 \pm 20 = 0.02 \times 0.6 \times 4.5 \times 10^3 \pm 20 = 54 \pm 20 \text{ mm}$$

式中：h——料层厚度，mm；

D_R ——磨辊直径，m。

5.7 磨机热平衡计算

计算设定条件如表 5-1 所示：

表 5-2 计算设定条件

磨机能力：G=267.71t/h	需用功率：N ₀ =2007.82
物料初水分：w ₁ =3.5%	物料终水分：w ₂ =0.5%
窑尾热气入磨温度：t ₁ =230℃	出磨气体温度：t ₂ =95℃
入磨物料温度：t ₃ =20℃	出磨物料温度：t ₄ =90℃
入磨循环风温度：t ₅ =90℃	环境温度：t _a =20℃

5.7.1 热收入部分

《水泥生产工艺计算手册》P99，表 4-13

a. 窑尾热气带入热量

$$\begin{aligned} Q_1 &= L \times c \times t_1 \\ &= 1.330 \times 230 \times L \\ &= 305.9L \end{aligned}$$

式中：L——入磨热风流量， Nm^3/h ；

t₁——入磨热风温度，℃；

C——入磨热风平均比热，查该书附表 12-11a，取 1.330 KJ/Kg 。

b. 粉磨产生热量

$$Q_2 = 3599\eta_1 \times N_0 \times k \times f$$

$$= 3599 \times 2007.82 \times 0.8 \times 0.7 \times 0.5 = 2023320.37 \text{ KJ/h}$$

式中: N_0 ——磨机需要功率, KW;

η_1 ——动力传动有效系数, 取 0.8~0.9;

k ——热转化系数, 取 0.7;

f ——立磨相对球磨转换修正数值系数, 取 0.5~0.7。

c. 系统漏风带入热量

$$\begin{aligned} Q_3 &= k \times L \times t_a C_a \\ &= 0.3L \times 20 \times 1.256 \\ &= 7.536L \end{aligned}$$

式中: k ——磨机漏风系数, 取 0.3;

L ——入磨热风流量, Nm^3/h ;

t_a ——环境温度, $^\circ\text{C}$;

C_a ——环境空气比热, 取 1.256 KJ/Kg;

d. 循环风带入热量

$$\begin{aligned} Q_4 &= (V - f \times L) \times t_5 \times C_2 \\ &= (315864.94 - 1.3L) \times 90 \times 1.301 \\ &= 36984625.82 - 152.217L \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

式中: V ——系统排风机正常风量, Nm^3/h ;

t_5 ——入磨循环风温, $^\circ\text{C}$;

f ——系统排风机系数, 取 1.1~1.6;

C_2 ——循环风机比热, 取 1.301。

$$\begin{aligned} \text{其中: } V' &= \frac{G}{400 \sim 600} \times 10^3 = \frac{267.71 \times 10^3}{460} \times 10^3 \\ &= 581978.26 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

《新型干法水泥技术》P92

$$\text{换算成标况值: } \frac{273 + 230}{273} \times V = 581978.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{解得 } V = 315864.94 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

e. 湿物料带入热量

$$Q_5 = G \times t_3 \times \left[C_m + \frac{4.185(w_1 + w_2)}{100 - w_1} \right]$$

$$= 267.71 \times 10^3 \times 20 \times \left[0.933 + \frac{4.185 \times (3.5 + 0.5)}{100 - 3.5} \right]$$

$$= 5921745.2 \text{ KJ/h}$$

式中: C_m ——生料比热, 取 0.933 KJ/Kg;

t_3 ——入磨物料温度, $^{\circ}\text{C}$;

G ——磨机生产能力, Kg/h。

5.7.2 热支出部分

a. 水蒸发耗热

$$\begin{aligned} Q'_1 &= G_w \times (2490 + 1.883 \times t_2 - 4.185 \times t_3) \\ &= 8322.6 \times (2490 + 1.883 \times 95 - 4.185 \times 20) \text{ (KJ/h)} \end{aligned}$$

$$\text{其中, } G_w = G \times \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1} = 267.71 \times 10^3 \times \frac{3.5 - 0.5}{100 - 3.5} = 8322.6 \text{ Kg/h}$$

式中: G_w ——水分蒸发量, Kg/h;

t_2 ——出磨气体温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_3 ——入磨物料温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

b. 加热物料消耗的热量

$$\begin{aligned} Q'_2 &= G \times \frac{100 - w_2}{100} \left(C_m + \frac{4.185 \times w_2}{100 - w_2} \right) \times (t_4 - t_3) \\ &= 267.71 \times 10^3 \times \frac{100 - 0.5}{100} \times \left(0.933 + \frac{4.185 \times 0.5}{100 - 0.5} \right) \times (90 - 20) \\ &= 17788285.4 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

式中: t_3 ——入磨物料温度, $^{\circ}\text{C}$;

t_4 ——出磨物料温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

c. 进收尘器废气带出热量

$$\begin{aligned} Q'_3 &= f_1 \times L \times C_2 \times t_2 \\ &= 1.3 \times L \times 1.297 \times 95 \\ &= 160.18L \end{aligned}$$

式中: f_1 ——系统排风机系数, 取 1.1~1.6;

L ——入磨热风风量, Nm^3/h ;

t_2 ——出磨气体温度, 95°C ;

C_2 ——出磨气体比热，取 1.297

d. 设备散热量

$$\begin{aligned} Q'_4 &= 0.05(Q'_1 + Q'_2) \\ &= 0.05 \times (21515460.68 + 17788285.4) \\ &= 1965187.3 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

e. 杂损失热量

$$\begin{aligned} Q'_{\text{损}} &= 0.056Q_1 = 0.056 \times 305.9L \\ &= 17.13L \end{aligned}$$

5.7.3 热平衡计算

总的热收入：

$$\begin{aligned} Q_{\text{收}} &= 305.9L + 2023320.37 + 7.536L + 36984625.82 - 152.217L + 5921745.2 \\ &= 44929691.39 + 161.219L \end{aligned}$$

总的热支出：

$$\begin{aligned} Q_{\text{支}} &= 21515460.68 + 17788285.4 + 160.18L + 1965187.3 + 17.13L \\ &= 41268933.38 + 177.31L \end{aligned}$$

由 $Q_{\text{收入}} = Q_{\text{支出}}$ 可得 $44929691.39 + 161.219L = 41268933.38 + 177.31L$

解得 $16.09 \pm L \quad 3660'$

$$L = 227503 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

转化为 230℃ 工况下入磨热风风量为：419173.02m³/h

5.7.4 磨机系统热量收支平衡表

表 5-3 磨机系统热量收支平衡表

收入项	KJ/h	所占比例%	支出项	KJ/h	所占比例%
1.窑尾废气	69593305.36	85.28	1.水分蒸发热量	21515460.68	26.36
2.粉磨产生热	2023320.37	2.48	2.加热物料	17788285.4	21.80
3.系统漏风	1714466	2.1	3.废气带走热	36441502.62	44.65
4.循环风	2354733.17	2.88	4.设备散热	1965187.3	2.41
5.湿物料	5921745.2	7.26	5.杂损热量	3897134.1	4.78
总计	81607570.1	100	总计	81607570.1	100

5.8 选粉机热平衡计算

5.8.1 热收入部分

《水泥生产工艺计算手册》P100

a. 入选粉机物料带入热

$$\begin{aligned} q_1 &= G_4 \times C_m \times t_4 \\ &= 259.6 \times 10^3 \times 0.933 \times 100 \\ &= 21805330 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

式中: G_4 ——出磨物料量, kg/h;

C_m ——干生料比热, 取 0.933 KJ/(kg·°C);

t_4 ——出磨物料温度, °C。

$$\begin{aligned} \text{出磨物料量: } G_4 &= G \times \frac{100 - (w_1 - w_2)}{100} \\ &= 267.7 \times 10^3 \times \frac{100 - (3.5 - 1)}{100} \\ &= 259.6 \times 10^3 \end{aligned}$$

b. 入选粉机物料中水分带入热

$$\begin{aligned} q_2 &= w_2 \times C' \times t_4 \\ &= 0.005 \times 259 \times 10^3 \times 100 \\ &= 491730 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

式中: C' ——水的比热, KJ/(kg·°C);

w_2 ——出磨物料中水分量, kg/h

c. 热空气带入热

$$\begin{aligned} q_3 &= I_2 \times C_2 \times t_2 \\ &= 1.3 \times 1.3 \times 10^6 \\ &= 36553775.57 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

式中: I_2 ——入选粉机热风, Nm³/h;

C_2 ——入选粉机热风在 t_2 温度下的比热, KJ/(Nm³·°C)。

d. 漏入空气带入热

$$\begin{aligned} q_4 &= k_3 \times I_2 \times C_a \times t_a \\ &= 0.01 \times 1.3 \times 10^6 \times 1.2 \\ &= 74293 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

5.8.2 热支出部分

a. 成品物料带走热

$$\begin{aligned} q_5 &= G_4 \times C_m \times t_3 \\ &= 259.68 \times 10^3 \times 0.933 \times 90 \\ &= 21805330 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

式中： t_3 ——成品物料温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

b. 成品物料中水分带走热

$$\begin{aligned} q_6 &= W_4 \times C' \times t_3 \\ &= 0.005 \times 259.68 \times 10^3 \times 90 \\ &= 491730 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

式中： w_4 ——选粉机烘干水量， kg/h 。

c. 循环干粉带走热

$$\begin{aligned} q_7 &= G_3 \times C_m \times t_3 \\ &= 0.005 \times 259.68 \times 10^3 \times 90 \\ &= 109026.65 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

式中： G_3 ——回磨循环物料量， kg/h （设有 0.5% 的物料回磨循环）。

d. 入选粉机热气体带走热

$$\begin{aligned} q_8 &= I_2 \times C_2 \times t_5 \\ &= 1.3 \times 1.3 \times 10^3 \\ &= 1.3 \times 227503 \times 45 \\ &= 34629892.65 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

e. 水分蒸发热

$$\begin{aligned} q_9 &= 638.8 \times w_2 \\ &= 638.8 \times 0.005 \times 259.68 \times 10^3 \\ &= 829417 \text{ KJ/h} \end{aligned}$$

e. 散热损失

$$q_{10} = 1059731.88 \text{ KJ/h}$$

5.8.3 高效组合选粉机热量收支平衡表

表 5-4 高效组合选粉机热量收支平衡表

收入项	KJ/h	所占比例%	支出项	KJ/h	所占比例%
入选粉机物料带入热	21805330	37.01	物料带走热	21805330	37.01
入选粉机物料中水分带入热	491730.05	0.83	物料中水分带走热	491730.05	0.83
热空气带入热	36553775.57	62.03	循环干粉带走热	109026.65	0.18
漏入空气带入热	74293.53	0.13	入选粉机热气体带走热	34629892.65	58.77
—	—	—	水分蒸发热	829417.92	1.41
—	—	—	其余散热	1059731.88	1.80
总计	58925129.15	100	总计	58925129.15	100

5.9 磨机风速、管道尺寸要求计算

5.9.1 风管尺寸的计算

一般部分外循环磨机的风速为 25~38m/s

《水泥工业粉磨技术》P229

a. 设进风管道的风速为 28m/s，则进风管有效内径为：

$$D_{\text{管}} = \left(\frac{Q_{\text{废}}}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times V} \right)^{0.5}$$

$$= \left(\frac{419073.02}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times 28 \times 2} \right)^{0.5} = 1.6 \text{ m}$$

内衬 50mm 耐火混凝土浇铸料，故入磨风管内径为 1.7m

$$\text{实际风速} = \frac{4 \times 419073.02}{2 \times \pi \times 3600 \times 1.6^2} = 28.56 \text{ m/s}$$

b. 设循环风管道的风速为 5m/s，则循环风管有效内径为：

$$D_{\text{管}} = \left(\frac{Q_{\text{废}}}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times V} \right)^{0.5}$$

其中，循环风量 $Q_{\text{循环}} = \frac{2354733.17}{1.301 \times 90} = 20110.45 \text{ Nm}^3/\text{h}$

90℃转化为工况下即 $20110.45 \times \frac{273+90}{273} = 26740.27 \text{ m}^3/\text{h}$

$$\begin{aligned} \text{因此 } D_{\text{管}} &= \left(\frac{Q_{\text{废}}}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times V \times n} \right)^{0.5} \\ &= \left(\frac{26740.27}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times 5} \right)^{0.5} = 1.4 \text{ m} \end{aligned}$$

内衬 50mm 耐火混凝土浇铸料，故循环风管内径为 1.5m

$$\text{实际风速} = \frac{4 \times 26740.27}{\pi \times 3600 \times 1.4^2} = 4.83 \text{ m/s}$$

c. 设 1/4 收尘风管道的风速为 30m/s，则风管有效内径为：

$$\begin{aligned} D_{\frac{1}{4}} &= \left(\frac{Q_{\text{废}}}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times V \times n} \right)^{0.5} \\ &= \left(\frac{581978.26}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times 30} \right)^{0.5} = 1.4 \text{ m} \end{aligned}$$

其中，581978.26m³/h 表示系统正常排风量，内衬 50mm 耐火混凝土浇铸料，故 1/4 收尘风管道内径为 1.4m。

$$\text{实际风速} = \frac{4 \times 581978.26}{4 \times \pi \times 3600 \times 1.3^2} = 30.46 \text{ m/s}$$

d. 设 1/2 收尘风管道的风速为 35m/s，则风管有效内径为：

$$D_{\frac{1}{2}} = \left(\frac{Q_{\text{废}}}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times V \times n} \right)^{0.5}$$

$$= \left(\frac{581978.26}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times 35} \right)^{0.5} = 1.7 \text{ m}$$

内衬 50mm 耐火混凝土浇铸料，故 1/2 收尘风管道内径为 1.8m

$$\text{实际风速} = \frac{4 \times 581978.26}{2 \times \pi \times 3600 \times 1.7^2} = 35.6 \text{ m/s}$$

e. 设总进风管道的风速为 25m/s，则风管有效内径为：

$$\begin{aligned} D_{\text{进}} &= \left(\frac{Q_{\text{废}}}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times V} \right)^{0.5} \\ &= \left(\frac{581978.26}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times 25 \times 1} \right)^{0.5} = 2.8 \text{ m} \end{aligned}$$

内衬 50mm 耐火混凝土浇铸料，故总进风管道内径为 2.9m

$$\text{实际风速} = \frac{4 \times 581978.26}{\pi \times 3600 \times 3.0^2} = 22.9 \text{ m/s}$$

f. 设总出风管道的风速为 20m/s，则风管有效内径为：

$$\begin{aligned} D_{\text{出}} &= \left(\frac{Q_{\text{废}}}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times V} \right)^{0.5} \\ &= \left(\frac{581978.26}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times 20 \times 1} \right)^{0.5} = 3.2 \end{aligned}$$

内衬 50mm 耐火混凝土浇铸料，故总出风管道内径为 3.3m

$$\text{实际风速} = \frac{4 \times 581978.26}{\pi \times 3600 \times 3.2^2} = 20.11 \text{ m/s}$$

g. 设进袋收尘管道的风速为 20m/s，则风管有效内径为：

$$D_{\text{收尘}} = \left(\frac{Q_{\text{废}}}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times V} \right)^{0.5}$$

$$= \left(\frac{555237.99}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times 20 \times 1} \right)^{0.5} = 3.1 \text{ m}$$

其中, $Q_{\text{废}} = 581978.26 - 26740.27 = 555237.99 \text{ m}^3/\text{h}$

内衬 50mm 耐火混凝土浇铸料, 故进袋收尘管道内径为 3.2m

$$\text{实际风速} = \frac{555237.99}{\frac{\pi}{4} \times 3600 \times 3.1^2} = 20.44 \text{ m/s}$$

5.9.2 各风管参数列表如下

表 5-5 各风管参数

序号	各点部位	有效尺寸(m)	风温℃	风量 m^3/h	风速 m/s
1	入磨风管	1.7	230	419073.02	28.56
2	循环风管	1.4	90	26740.27	4.83
3	1/4 收尘管	1.3	93	581978.26	30.46
4	1/2 收尘管	1.7	90	581978.26	35.6
5	总进风管	2.8	90	581978.26	22.9
6	总出风管	3.2	90	581978.26	20.11
7	进袋收尘管	3.2	90	555237.99	20.44

系统排风机的选型:

风量的确定:

$$Q_{\text{排}} = 1.15Q = 1.15 \times 581978.26 = 669275 \text{ m}^3/\text{h}$$

式中—Q 表示系统正常排风量 $Q = \frac{G}{400 \sim 600} \times 10^3 = 581978.26 \text{ m}^3/\text{h}$

选用离心式通风机, 型号: Y5-73-14-28D 风量: 297069~60210 m^3/h

风压: 2202~210Pa 功率: 616.13~16.11kW

5.10 窑尾收尘器的选型

分析水泥回转窑的工况条件、烟尘特性的基础上，要达到环保要求，决定采用袋式收尘器。窑尾废气利用情况将一部分通向生料磨烘干生料，出生料磨的废气还有一部分以循环风的形式重新进入生料磨，其余废气通过袋收尘净化后排放到大气。立磨系统大约有 $0.28 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ 熟料的漏风量，最终在收尘器进口处的废气量与出高温风机处的标况废气量基本相同。生料磨正常工作情况下废气量为 $584857 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

考虑到生料磨停机时窑尾废气要全部通过收尘器因此在选型时选用 LPJ54×180 高压喷管脉冲袋收尘器，总过滤面积为 9882m^2 ，处理风量为 $640000\text{--}710000\text{m}^3/\text{h}$ ，烟气温度小于 230°C ，收尘效率 99.8% 以上。LPJ 系列高压喷管脉冲袋除尘器属于新一代脉冲袋式除尘技术，不但具有喷吹脉冲除尘器的清灰能力强、除尘效率高、排放浓度低等特点，还具有稳定可靠、能耗低、占地面积小的特点，特别适合处理大风量的烟气。

5.11 生料车间其他设备的选型及计算

5.11.1 皮带机的选型

皮带机采用 DT II 型固定式输送机，整个生料车间中，该皮带机可由单机或多机组合成运输系统来输送物料，物料的松散密度易为 $500\sim 2500\text{kg}/\text{m}^3$ 的各种散装物料及成件物品。

1、用于输送石灰石的皮带机的计算

皮带机带宽及带速的选择：根据《新型干法水泥厂工艺设计手册》第 501 页表 11-1 及 502 页表 11-2 中数据选择带宽为 650mm，带速为 1.6m/s，拖辊槽角 35° 水平距离 120m，垂直高度差 14m。

$$\text{皮带机输送角度为: } \alpha = \arctan\left(\frac{h}{l}\right) = \arctan\left(\frac{14}{120}\right) = 6.6^\circ$$

查表 11-21 可得在 α 为 0° ，时其输送能力为 I_v 为 $254 \text{ m}^3/\text{h}$

则其实际输送能力为 $I_m = kI_v\rho = 0.98 \times 254 \times 1.45 = 360.9 \text{ t/h}$

$$\text{实际装满石灰石配料库所需时间为 } t = \frac{Q_{\text{库}}}{I_m} = \frac{2 \times 491.7}{360.9} = 2.7 \text{ h}$$

即实际装满库时间小于物料存储时间，因此能够满足生产设计需要

2、用于输送其他原料的皮带机的计算

皮带机带宽及带速的选择：选择带宽为 500mm，带速为 1.0m/s，拖辊槽角为 35° ，

水平距离 120m，垂直高度差 12m。

$$\text{皮带机输送角度为: } \alpha = \arctan\left(\frac{h}{l}\right) = \arctan\left(\frac{12}{120}\right) = 5.7^\circ$$

查表 11-21 可得在 α 为 0° ，时其输送能力为 I_v 为 $87 \text{ m}^3/\text{h}$

则其实际输送粘土能力为 $I_m = kI_v\rho = 0.99 \times 87 \times 1.4 = 120.58 \text{ t/h}$

$$\text{实际装满粘土配料库所需时间为 } t = \frac{Q_{\text{库}}}{I_m} = \frac{274.75}{120.58} = 2.3 \text{ h}$$

则其实际输送矿渣能力为 $I_m = kI_v\rho = 0.99 \times 87 \times 1.5 = 129.2 \text{ t/h}$

$$\text{实际装满矿渣配料库所需时间为 } t = \frac{Q_{\text{库}}}{I_m} = \frac{294.4}{129.2} = 2.3 \text{ h}$$

即实际装满三个库时间小于各库中物料的储存时间，因此能够满足生产设计需要

5.11.2 斗式提升机的选型

1、原料输送部分提升机的选型

由于工厂布置较为紧密，从配料库到立磨喂料口距离仅有 30m 距离，需输送至 22.5 米的高度，因此需采用提升机将原料提升至 20m 高，物料平均堆积密度在 1.45 左右，物料性质为粉状小颗粒物料，输送量为 267.71 t/h ，即 $185 \text{ m}^3/\text{h}$

选用 TDG500 型提升机，输送能力 $220 \text{ m}^3/\text{h}$ ，料斗运行速度 1.5 m/s ，提升高度 28m，配套选取 Y180L-1 型电机，主电机功率 22kW，减速机为 DCYK 型，斗型采用 Sh 型探斗。

2、外循环提升机的选型

立磨正常工作情况下，将产生 10~15% 的外循环物料，所以每小时将产生 26~40t 的物料量，考虑到磨机饱磨情况下或者磨机跳停时，一部分物料将被喂到临时储存仓中，这部分物料也需通过提升机输送，以及在磨机不正常工作情况下将产生大量的外循环，因此选取提升能力相对较大的提升机

提升机所需提升高度 25m，物料堆积密度约在 1.4 左右，物料性质为粉状小颗粒物料，提升能力 120 t/h ，即 $85.7 \text{ m}^3/\text{h}$

选取型号为 TDG315 型提升机，输送能力 $101 \text{ m}^3/\text{h}$ ，最大提升高度 28m，料斗速度 1.34 m/s ，配套选取 Y180M-4 型主电机，主电机功率 18.5kW，斗型采用 Sh 型探斗。

生料粉输送提升机

成品生料粉输送过程中需要三台提升机输送生料，分别选用 TDG315、TDG500、TDG630 型斗式提升机各一台用于生料粉的输送，设备参数见表

表 5-6 生料输送提升机参数

设备型号	输送量 (m ³ /h)	提升高度 (m)	功率 (kW)	电机型号	料斗形式	料斗容量 (L)	斗距 (mm)	斗速 (m/s)
TDG315	101	8	11	Y160M-4	Sh	10	360	1.34
TDG500	220	15	22	Y180L-4	Sh	25	460	1.5
TDG630	348	50	30	Y200L-4	Sh	40	520	1.68

5.11.3 螺旋输送机的选型

螺旋输送机用于袋收尘下方，将收集下来的物料输送至空气斜槽后，再输送到提升机由其提升到主输送斜槽内，要求输送能力 30t/h，选用两台 LS200 型螺旋输送机。螺距 200mm，转速 100r/min，输送量 14m³/h（生料粉在螺旋输送机中松散密度为 1.1t/m³）

5.11.4 空气斜槽的选型

生料粉主要通过空气斜槽输送至生料库附近的提升机，此外袋式收尘器收集下来的物料经螺旋输送机输送后，也将通过空气斜槽输送至主输送通道。

要求输送能力 267.71t/h，选用型号 XZ500，输送角度 $\alpha = 8^\circ$ ，输送能力 355t/h；

袋收尘至主输送通道的空气斜槽选用型号 XZ200，输送角度 $\alpha = 8^\circ$ 输送能力 35t/h；

第 6 章 全厂工艺布置

6.1 全厂总平面布置的原则

影响水泥厂总平面布置的因素有很多，比如城市和工业区的规划；厂区的面积、地形、气象、水文和工程地质；运输方式和要求；动力来源；给排水条件；产品种类；工厂规模和工艺流程；工厂发展远景；建筑要求和施工条件；防火及卫生要求等等。因此，在进行总平面设计时，必须考虑到这些因素。

水泥厂总平面设计的基本原则概括如下：

①总平面布置应满足生产工艺流程的要求。

水泥生产具有物流量大和连续流动的特点，在布置总平面图时，要考虑连续加工和运送的过程，合理安排生产车间，做到物料流向顺畅、运输路线简洁，避免往返交叉。在满足生产工艺流程的前提下，要为生产的机械化、自动化和合理的生产作业线的布置创造条件，从而节约运输设备和费用，降低水泥生产的成本。

②总平面布置应采取措施满足节约用地的要求。

妥善处理工厂建设与发展的关系。充分利用场地，合理的确定各种间距，建、构筑物的布置力求紧凑合理。采用合理的建筑外形，适当合并性质相同的各类建、构筑物，采用合理的通道宽度，选择合理的运输方式等。布置时，生产车间的距离应尽量集中紧凑，以缩短运输距离，节约运输设备、管线和工厂用地。但是要满足防火、防爆、通风、采光及在车间之间敷设地上和地下管线的要求。

③总平面布置要适应厂内、外运输的要求。

总平面布置要最大限度的满足物料输送的要求。同时要组织好厂内外的人流和物流，将其与总平面布置紧密地结合在一起，使其成为一个有机的整体。

④总平面布置与厂区的自然条件相适应。

结合场地地形、地势，进行合理的布置。不同的场地选择不同的布置形势。荷重较大的构筑物 and 大型设备应该配置在工程地质条件较好的地段或挖方地段。

⑤总平面布置要留有扩建的可能性。

工厂设计的时候好考虑到今后发展的可能，以便于以最少的投资，达到扩大再生产的目的。车间预留扩建为值得一侧，最好采用便于拆除的围护结构。

⑥辅助车间与生产服务性措施，应尽量配置在靠近其所服务的主要生产系统的地方。

⑦工厂的总平面图，应具有合理的建筑艺术，必须预先考虑到厂区的整齐及其美化，使每个建筑物及工厂整体都赋有建筑艺术的表现力。

6.2 全厂总平面布置说明

本次设计根据了设计厂区的进出厂物料运输方向、运输方式、风向等因素，全面衡量、合理布置了全厂所有的建筑物、构筑物、铁路、道路等的平面和竖向的相互布置，使之适合于工艺过程。

本次中的全厂总平面布置的特点是对全厂进行了适当的功能分区，办公生活区位于厂区的南面，在主导风向的上风位。整个厂区大致呈长方形为避免过多的土地浪费而在转角处采用了折线。整个厂区以东西向靠南面的公路为划分带，将生产区和办公生活区分开，使生产能更顺畅的同时职工的办公生活尽量不受到生产厂区的各种影响。以东西向两条公路将主生产线突出使整个生产的大致流程一目了然，主生产线尽量布置于一条直线上以避免过多的曲折导致在输送设备上不必要的投资继而避免正式生产时输送设备的电能消耗过多以造成生产成本的上升。主生产线特点是原料烘干兼粉磨的原料磨和在窑尾附近，利用窑尾废气余热来烘干原料；煤磨位于窑头附近，使用窑头热气来烘干煤粉，中央控制室布置在整个生产线的中央，有利于操作人员观察设备运转情况，并能及时赶到故障现场。对比水泥出厂方式对利润的影响以及听取老师的意见后，采取设计工厂水泥的出厂方式主要为铁路运输，因此水泥的散、包装车间均靠近铁路，汽车散装也可通过厂侧门输送；全厂原燃料除石灰石外运输距离较远主要用火车输送，机修室、材料库，以及配电房都尽量靠近生产线设置。办公生活区设置了办公大楼、化验室等功能区，此外还设有食堂、浴室、职工宿舍、运动场等职工娱乐休息场所。考虑到职工生产生活环境的问题，因此整个办公生活区都大量的进行草坪铺设和树木种植，通过这样的方式来减少工厂噪音，阻挡粉尘扩散，改善职工在厂区的办公及生活环境。

从总平面布置图来讲，本设计力求大方简洁、设备合理布置，从原料进厂到成品的流程顺畅，尽最大限度降低基建投资及生产成本。

第 7 章 原料制备车间工艺布置

整个原料制备车间包括了各种原料堆场布置、各种主机的安装以及风管的布置。在布置中，考虑了各设备之间的联系，使得设备之间相互协调。

堆场由于扬尘较大，统一布置在工厂的下风向。除石灰石堆场外其他矩形预均化堆场采用并列式布置，各堆场外设有卸料坑，坑外是铁路线，方便原料输送火车进厂后的卸料。原料通过生料配料站配比后通过提升机提升至一定高度，由皮带机输送至立磨下料斜槽。

ATOX 磨属于一种可以露天布置的立式磨，因此没有设置立磨厂房，外循环提升机和一级旋风除尘器设置在磨机两旁的位置，以利于物料的输送，其中外循环提升机旁设置一个料仓，在出现饱磨情况时，通过控制旋转下料阀使得物料暂时进入料仓储存，在磨内物料量恢复正常后，料仓内的物料通过外循环提升机重新输送至喂料皮带机。二级收尘采用袋式收尘器，袋收尘收下的物料通过螺旋输送机、空气斜槽和提升机输送至生料输送斜槽，并输送至生料库附近，通过提升机提升至库顶入库。

一级旋风筒出来的高温废气通过增湿塔和高温风机后从磨机进风口进入磨机内部，在高温风机和立磨之间设置有热风炉，在回转窑点火时可以对立磨提供部分热风。在一级旋风除尘器后部设有外循环风管，用来调节磨内热气温度。窑尾多余的废气可以直接通过管道进入袋式收尘器，其风量可以通过调节阀门来控制。袋收尘净化后的废气通过设置在窑尾预热器支架旁的烟囱排放。

总 结

经过这次设计中，通过参考查阅大量的资料，使我更加了解水泥厂的生产过程和生产设备，以及如何根据要求设计水泥厂的工艺，设备选型。通过本次设计还提高了自己的动手、学习、综合分析问题及解决问题的能力。

在生料车间的工艺设计中，使我更加详细的了解了目前水泥工业中的生料制备系统，对生料的制备过程有了更深刻的了解。

此外在设计中，我学会了使用 AUTOCAD 绘图软件，使我掌握了一个对于我们来说很重要的软件的应用。

通过这次毕业设计，自己在各个方面都得到了锻炼与提高，不仅拓展了自己的知识面，提高了自己的动手能力，还为自己以后在工作中的发展打下了良好的基础。

致 谢

在本次设计过程中得到了***老师的悉心指导、帮助我开拓了思路，使得我能顺利的完成了任务。**老师严谨的治学精神、渊博的专业知识和丰富的工程实践经验令本人敬佩，**老师的谆谆教诲更是令本人终生受益。在此对王老师表示衷心的感谢！

材料科学与工程学院为我的这次设计提供了大量的设计资料，老师们给予了我很多帮助，在此表示诚挚的敬意和谢忱。

在本人的设计的工作过程中，还得到了同组其他成员的帮助，在本人设计过程中与本人认真仔细的讨论也使此次设计更加完善，在此，一并向他们表示衷心的感谢。

最后感谢所有关心、帮助过本人的亲友、师长和同学们。

主要参考文献

- [1] 严生, 常捷, 程麟主编. 新型干法水泥厂工艺设计手册[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2007
- [2] 刘志江主编. 新型干法水泥技术[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2005
- [3] 于润如, 严生编著. 水泥厂工艺设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- [4] 金容容主编. 水泥厂工艺设计概论[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 1993
- [5] 陈全德著. 新型干法水泥技术原理及应用[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2004
- [6] 王君伟, 李祖尚编著. 水泥生产工艺计算手册[M]. 北京: 中国建材工业出版社, 2001
- [7] 张庆今编著. 硅酸盐工业机械及设备[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2003
- [8] 雷前治. 新型干法水泥的发展空间[J]. 中国水泥, 2006(6)
- [9] 刘寿绵, 胡斌. 冀东二线 4000t/d 工艺线的设计(上,下)[J]. 水泥技术, 1998(3)
- [10] 周二动, 黄平. 大型水泥生产线工艺设计需要注意的细节问题[J]. 水泥工程, 2005(1)
- [11] 曹文聪, 杨树森主编. 普通硅酸盐工艺学[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1996
- [12] 编写组编. 水泥厂工艺设计手册(上,下册) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1978
- [13] 左荣宝主编. 水泥厂设备手册[M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 1988
- [14] 张浩楠主编. 中国现代水泥技术及装备[M]. 天津科学技术出版社, 1991(2)
- [15] 刘后启. 窑尾选用电收尘和袋收尘的比较[J]. 新世纪水泥导报, 2001(3)
- [16] 熊会思, 程福安, 李兆峰. 水泥厂立式辊磨的选型(一)[J]. 新世纪水泥导报, 2005(3):38~41
- [17] 熊会思, 程福安, 李兆峰. 水泥厂立式辊磨的选型(四)[J]. 新世纪水泥导报, 2005(6):48~50
- [18] 姚天海, 曹宝新. ATOX 立磨的设计特点及最新改进[J]. 水泥工程, 2004(3):41~43
- [19] 秦景燕, 王传辉. 新型干法水泥厂窑尾袋收尘技术[J]. 河南建材, 2004(1):20~29
- [20] 赵清. 影响 ATOX 立磨产量的原因与对策[J]. 新世纪水泥导报, 2005(5):32~34
- [21] 贾丈. ATOX 立磨生料粉磨系统的应用[J]. 水泥工程, 2002(6):41~42
- [22] 邓小林. 为 5 000t / d 生产线配套的大型原料立磨的技术现状[J]. 中国水泥, 2006(9):60~62
- [23] 杨倜人. 论水泥熟料中三个率值的匹配关系[J]. 四川水泥, 2002(3):10~12
- [24] 汪澜, 崔素萍. 再论预分解窑水泥生产配料方案的选择[J]. 水泥工程, 1997(4):5~7
- [25] 严义. 生料均化库设计与使用中应注意的问题[J]. 水泥, 2004(10):26~27
- [26] 刘永丽. 生料均化库的工艺设计方案比较[J]. 水泥, 2004(4):29~30
- [27] 方景光. 粉磨工艺及设备. 湖北: 武汉理工大学出版社[M], 2002