

沃尔特·H·杜达

cement data- book

国际水泥资料集 2

- 电气工程
- 自动化
- 贮存
- 输送
- 装运

中国建筑工业出版社

国际水泥资料集2

电气工程、自动化、贮存、输送、装运

沃尔特·H·杜达

裘恂萱	刘秉钺	孔希仲	译校
朱祖培	祁兴久	容永泰	

中国建筑工业出版社

本书综合叙述近代各国水泥工业的新装备和过程控制的新技术，其中包括电气工程、自动化、测量与控制、电子计算机的应用以及水泥的包装发运方法，并涉及水泥的品种、贮存、输送及水泥厂的用水等各个方面。书中给出了许多实用数据。

本书可供水泥工业生产、科研、设计人员以及有关的大专院校师生阅读参考。

责任编辑：刘家屿

Walter H. Duda
Cement-data-book 2
1984. Bauverlag GmbH
Wiesbaden, Berlin

国际水泥资料集 2

电气工程、自动化、贮存、输送、装运

裘榕萱 刘秉霞 孔希仲 译校
朱祖培 祁兴久 容永泰

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

开本：787×1092毫米 1/16 印张：18½ 字数：455 千字

1986年9月第一版 1986年9月第一次印刷

印数：1—4,300 册 定价：3.45 元

统一书号：15040·5026

前 言

《国际水泥资料集》的出版受到了国际水泥界的热烈欢迎，在各国专业出版中得到良好的反映，第1版问世不久即被销售一空，因此，在1977年修订再版，第2版列为《国际水泥资料集》的第1册。

在第1册的书评中，除了听到许多表扬之外，我们也听到了指出书中各种不足的批评意见，这些意见虽然一般并不直接涉及水泥生产工艺，但对于水泥工程师来说也很重要。由此，促使本书的作者和建筑出版社去编写、出版《国际水泥资料集》的第2册。在第2册中常常述及1977年再版的第1册。

第1册出版发行之后，许多美国工业界(其中包括水泥工业)各自把书中的计量单位转换成公制或国际单位制(SI)，因此，在第2册中不再使用旧的美制计量单位(US)。有些科学单位也不使用，如以Mg(兆克)代表Ton(吨)等，因为这些单位在工业界和商业界并不通用。

第2册的内容共分12章，其中第4章介绍过程控制计算机在水泥工业中的应用，这一章的部分内容是作者个人在加利福尼亚世界上第一个用计算机控制的水泥厂建设的经验。这一章的内容未能列入水泥生产工艺中计算机控制最完善或最新的发展，因为在这个领域中，实际的发展总是比出版为快，我们也不能等待一切发明创造或一切都已经完美无缺。计算机工业不断地改善它的硬件，它的应用将会有新的经验，将有新的程序设计技术和更先进的软件，这将为水泥工艺工程师不断改善生产工艺提供先进的自动化过程控制的可能性。工程师们应该不懈地努力工作以达到光辉的顶点。虽然这个热望可能永远不会如愿，但它也是科学技术进步发展的动力。

水泥工艺学不是一门抽象的科学，它的进步依赖于主要水泥机器制造公司的大量投资和长期不断进行的研究与发展工作，因此作者在书中经常提到发展了专用生产工艺、机器和设备的有关公司，这样也是为了帮助运行工程师和设计工程师与有关公司取得联系。

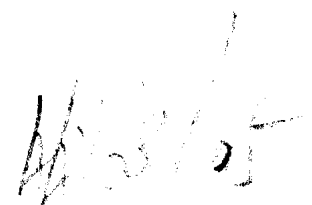
作者首先对史密斯(F.L.Smith)公司、洪堡·韦达格(KHP Humboldt Wedag)公司、克虏伯·波利西阿斯(Krupp Polysius)公司和富勒(Fuller)公司表示感谢，感谢它们提供大量数据资料和给予的密切合作。在这里要提到每一个给作者提供信息资料的公司的名字也是不可能的，它们的名字会出现在书中的有关部分。

作者特别感谢约瑟·H·黑尔兹(Joseph H. Herz)工程师，感谢他在水泥工业过程控制计算机这一章的编订过程中提供咨询和协助，感谢他对原稿的审阅。

作者对赖恩哈特·克那普(Reinhart Knapp)先生——威斯巴登(Wiesbaden)建筑出版社出版发行部经理表示感谢，感谢他提供宝贵的资料，特别是提供来自欧洲供应公司的资料。最后作者对建筑出版社给予本书良好的印刷和精美的装潢表示感谢。

沃尔特·H·杜达

于美国宾夕法尼亚州 艾伦敦



目 录

1. 水泥工业电气工程

1-1 单位产量耗电量、年耗电量, 最大负荷	1
1-1-1 自发电或由公共电网供电	2
1-1-2 自备发电站的类型	2
1-2 由公共电网供电	5
1-2-1 工厂总变电站	5
1-2-2 电气设备的投资费	6
1-3 配电	6
1-3-1 高压、中压和低压的划分	6
1-3-2 配电方案的评述	7
1-3-3 配电方案实例	7
1-3-4 测量与指示仪表	9
1-3-5 开关设备	10
1-4 中压电缆	10
1-4-1 电缆截面积的确定	10
1-4-2 电缆的敷设	11
1-5 保护装置	11
1-5-1 第二级中压开关设备	11
1-5-2 大型电动机的保护装置与控制装置	12
1-5-3 电气保护装置	12
1-5-4 欠压保护	12
1-5-5 过电流保护与短路保护	13
1-5-6 定子接地故障	13
1-5-7 差动保护	14
1-5-8 热保护装置	14
1-6 变压器	15
1-7 低压电缆	16
1-8 低压开关设备	16
1-8-1 电动机起动器和电动机控制中心	17
1-8-2 有过载保护的电动机起动器	17
1-8-3 电动机控制中心	18
1-8-4 MCC评介	19
1-9 电动机	20

1-9-1 恒速电动机	20
1-9-2 无功功率的补偿	20
1-9-3 专用电动机	21
1-9-4 双定子可调转矩驱动电动机	21
1-9-5 扇形电动机	22
1-9-6 转速可调电动机	23
1-9-7 辊磨机的驱动电动机	24
1-10 接地保护	26
1-11 矿山配电	26
1-11-1 安全规定	26
1-11-2 中压配电(6千伏、4160伏)	26
1-11-3 低压配电(600伏或其以下)	28
1-12 应急供电	28
1-13 避雷	31
1-13-1 电气设备的避雷	31
1-13-2 工厂建、构筑物的避雷	32
1-14 工厂照明	34
1-14-1 矿山照明	36
1-15 电气开关室	37
1-16 煤磨设备的电气装备	38

2. 自动化

2-1 水泥工业自动控制和自动化的发展	42
2-1-1 机-电功能的自动化	44
2-2 生产机械的自动化	47
2-2-1 岩石破碎机的控制	47
2-2-2 岩石破碎机的保护	47
2-2-3 岩石破碎机的调节	48
2-2-4 锤式破碎机的滑动控制	49
2-3 粉磨回路的控制	49
2-3-1 用电耳控制磨机的喂料	49
2-3-2 用空气选粉机控制磨机的喂料	51
2-3-3 用斗式提升机控制磨机的喂料	52
2-3-4 用选粉机、提升机和声响信号控制磨机的喂料	53
2-3-5 用称量循环粉料的方法控制磨机的喂料	54

2-3-6 用渗透细度仪控制磨机	55	3-2-6 声波料位指示器	101
2-3-7 用小型计算机控制使粉 磨回路最佳化	57	3-2-7 电容式料位指示器	101
2-4 分析数据的准备	59	3-2-8 放射性料位指示器	101
2-4-1 X-射线荧光分析	59	3-3 温度的测量	103
2-4-2 连续的X-射线荧光分析	60	3-3-1 二次空气温度	104
2-4-3 非连续的X-射线荧光分析	64	3-3-2 篦式冷却机内二次空气温度的测量	104
2-5 各种原料的配比控制	67	3-3-3 多筒式冷却机 内二次空气温度的测量	104
2-5-1 生料的采样	69	3-3-4 烧成带温度	105
2-5-2 从料仓取出生料的各个分量	71	3-3-5 用热电偶测量	105
2-6 回转窑内的煅烧过程	74	3-3-6 用高温计测量	107
2-6-1 回转窑的手动控制	74	3-3-7 光学高温计	107
2-6-2 回转窑内的化学变化过程	76	3-3-8 辐射高温计	107
2-6-3 回转窑的自动控制	76	3-3-9 比色高温计	109
2-6-4 回转窑的控制——软件	77	3-3-10 回转窑筒体的温度	109
2-7 预热器-回转窑-冷却机的控制	77	3-3-11 彩色温标笔	109
2-7-1 主要的分支系统	77	3-3-12 接触式热电偶	109
2-7-2 生料量	79	3-3-13 半导体测温仪	109
2-7-3 燃料量	79	3-3-14 烧成带筒体温度	109
2-7-4 二次空气	81	3-3-15 窑筒体温度的快速扫描仪	110
2-7-5 从预热器和熟料 冷却机出来的气量	82	3-3-16 回转窑废气中的氧	112
2-7-6 旋窑的转速	83	3-4 称量装置	114
2-7-7 预热器-回转窑-冷却 机控制回路和仪表	83	3-4-1 测力传感器	115
2-7-8 窑的控制系统—— 计算机控制的流程图	87	3-4-2 运输皮带秤	116
2-7-9 实现回转窑控制的“模 糊逻辑 (Fuzzy Logic)”	90	3-4-3 配料皮带秤	117
2-7-10 福克斯博罗 (Foxboro) 控制系统	91	3-4-4 用试验仓检验配料皮带秤	119
2-7-11 分级结构和分 散智能的控制技术	93	3-4-5 用配料皮带秤配料	119
		3-4-6 核皮带秤	122
		3-4-7 冲击式粉粒体流量计	123
		3-4-8 粉粒体配料给料机	124
		3-4-9 桥秤	126
		4. 过程控制计算机	
		4-1 工业过程的自动化	127
		4-2 计算机的发展史	127
		4-3 计算机的分类	128
		4-3-1 科学计算机	128
		4-3-2 管理 (电子数据处 理EDP) 计算机	129
		4-3-3 过程控制计算机	129
		4-4 模拟计算机和数字计算机	130
		4-4-1 模拟计算机	130

3. 测量与控制

3-1 PID-调节器	97
3-2 料库和料仓的料位控制	99
3-2-1 旋转叶轮式料位指示器	99
3-2-2 连续指示的料位指示器	100
3-2-3 散装水泥的料位控制	100
3-2-4 音叉料位指示器	101
3-2-5 超声波料位指示器	101

4-4-2 数字计算机	130
4-5 计算机的组成	132
4-5-1 输入设备	132
4-5-2 存储器	132
4-5-3 运算器	133
4-5-4 控制器	133
4-5-5 输出设备	133
4-6 接口设备	134
4-7 输入/输出配置	135
4-7-1 带外存储器的计算机结构	136
4-8 硬件-软件	137
4-9 直接数字控制 (DDC)	138
4-10 数字过程计算机的规格	141
4-10-1 小型计算机	141
4-10-2 微型计算机	142
4-10-3 计算机的演变	143
4-10-4 水泥工业中计算机控制的发展史	143

5. 控制 屏

5-1 控制屏的发展	145
5-2 控制屏和控制室	145
5-3 中央控制屏	146
5-4 分散控制屏	154
5-5 中央控制室的布置	155

6. 水 泥 厂 用 水

6-1 冷却水消耗	157
6-2 冷却水平衡	158
6-3 水泥的水冷却	158
6-4 湿法生产用水	159
6-5 单位水泥产量的冷却水耗用量	159
6-6 喷淋水的需用量	160
6-7 冷却水与电耗	160
6-8 冷却水循环	161
6-9 废水处理	161

7. 水 泥 品 种

7-1 标准水泥	162
7-2 波特兰水泥	164

7-3 早强水泥	164
7-4 低热水泥	165
7-5 抗硫波特兰水泥	166
7-6 加气波特兰水泥	168
7-7 白色波特兰水泥	169
7-7-1 引言	169
7-7-2 生料制备	169
7-7-3 熟料煅烧	170
7-7-4 熟料脱色漂白	171
7-7-5 白水泥粉磨	172
7-7-6 生产成本	172
7-8 油井水泥	173
7-9 混合水泥和特种水泥	176
7-9-1 高炉矿渣水泥	176
7-9-2 波特兰火山灰水泥	178
7-9-3 粉煤灰水泥	178
7-9-4 膨胀水泥	180
7-9-5 高铝水泥	181

8. 熟料贮存、水泥粉磨、水泥凝结和流动性问题

8-1 引言	184
8-2 熟料贮存	184
8-3 石膏	187
8-4 熟料粉磨	188
8-5 水泥凝结问题	188
8-5-1 假凝	189
8-5-2 快凝	189
8-5-3 库凝	189
8-5-4 袋凝	189
8-6 水泥的贮存条件	189
8-6-1 库内贮存	190
8-6-2 袋装贮存	190
8-6-3 袋凝	190
8-7 水泥的流动性	191
8-8 圆库卸料	192
8-9 圆库几何形状	193
8-10 库内装置	194

9. 水 泥 库

9-1 水泥库卸料专用设备	202
---------------	-----

9-2 库顶设备	203	11-6 水泥厂用计算	
10. 从水泥磨至水泥库 的水泥输送		机的装运自动化	272
10-1 机械输送机	206	11-6-1 装运自动化的设计	273
10-1-1 螺旋输送机	206	11-6-2 组合型装运系统的结构	274
10-1-2 胶带输送机	208	11-6-3 订货单的执行	275
10-1-3 斗式提升机	211	11-6-3-1 订货单的登记	275
10-2 气力输送机	216	11-6-3-2 安排	275
10-2-1 空气输送斜槽	216	11-6-3-3 自动安排	275
10-2-2 气力提升泵	217	11-6-3-4 装运过程	275
10-2-3 仓式泵	220	11-6-4 集装水泥的交货	277
10-2-4 螺旋泵	222	11-6-5 铁路装运和船舶装运	277
11. 水泥的装运		11-6-6 系统的配置	277
11-1 包装概述	229	11-6-7 数据存储	278
11-2 纸袋	229	11-6-8 系统对话	279
11-3 包装机	231	11-6-9 存储器中数据的保护	279
11-3-1 固定式包装机	231	11-6-10 编制帐单	279
11-3-2 回转式包装机	233	12. 计算机指导的设备维 护和库存管理	
11-4 袋装水泥的装运	239	12-1 维护请求	280
11-4-1 袋装水泥集装化	243	12-2 工作指令计划	281
11-4-2 缩膜包装	250	12-3 工作计划	281
11-5 散装水泥的装运	259	12-4 执行和报告	281
11-5-1 水泥罐车种类	260	12-5 备件、加工材料和 特种工具的贮备	282
11-5-2 水泥罐车的散装	261	12-6 预防性维护	282
11-5-3 汽车罐车的卸载	266	参考文献	284
11-5-4 散装水泥的船运	267		

1. 水泥工业电气工程

1-1 单位产量耗电量、年耗电量，最大负荷

新建一个水泥厂，或者扩建一个老厂，在进行其电气设备和供电系统设计的时候，最重要的是首先确定最大负荷、单产耗电量和年耗电量。

老厂扩建的设计，其负荷的确定比较容易，因为老厂原有数据可资利用。新增添生产线的单产耗电量比原有设备的要低些，因为新生产设备的效率比原有设备的效率要高。

但是，如果设计的是一个全新的水泥厂，那就可以首先假定水泥单产电耗约为 115 千瓦小时/吨，并且，只有一条生产线时设备的负荷因数设为 0.65，有多条生产线时全厂的负荷因数设为 0.7。水泥厂的每条生产线主要包括一台原料磨、一台回转窑、一台水泥磨及其附属设备；这些主要设备各自的产量应是互相配套的。

根据这些假定的数值，一个产量为 2000 吨/24 小时的水泥厂，包括采矿、原料磨、回转窑、熟料冷却机、水泥磨和包装车间等一整套设备，所需要的平均功率可计算为

$$\frac{2000}{24} \cdot 115 = 9600 \text{ 千瓦}$$

这样，年耗电量便为 9600 千瓦·8760 小时/年·0.92（设年运转因数 = 336 天/年）≈ 78000000 千瓦小时。最大负荷功率为

$$\frac{9600}{0.65} \approx 15000 \text{ 千瓦}$$

如果没有功率因数补偿装置，估计在最大负荷时功率因数约等于 0.80；则最大的千伏安便是 $\frac{15000}{0.80} \approx 19000$ 千伏安。

有一种预估发电厂或主变电站规模大小的方法，即按年产水泥每 200000 吨配备 5000 千伏安的容量来计算。

另一种估算的方法是，水泥厂的连接功率按日产水泥每 100 吨配备 1 兆伏安；对于 2000 吨/24 小时的水泥厂，连接功率便是 20 兆伏安或 20000 千伏安，这个数值与上面计算的负荷很接近。此外，应为工厂未来的可能扩建备有余量。

准确的计算只能在全部电动机最终设计的规格都知道之后；在此基础上才能确定发电厂或主变电站的大小。对于一个产量为 2000 吨/24 小时的水泥厂，经精确设计，其各项耗电量见表 1.1 所列。

前面所提到的耗电量 115 千瓦小时/吨只是一个假设数字，也是为了确定主变电站或发电厂的大致规模使用的。这个数字首先与原料、熟料的易磨性以及粉磨细度有关，例如，某种熟料粉磨至 6000 布莱恩（Blaine）数（早强水泥），所耗的电能为同种熟料粉磨至 3000 布莱恩数所耗电能的 2 倍以上^[1]。然而，特殊水泥只是水泥厂常规水泥总产量的一小部分，在大多数情况下按常规的波特兰水泥的 3200 布莱恩数来计算水泥厂的能耗就足够了。有些水泥厂单位产量的耗电量为 90 千瓦小时/吨，甚至只有 82 千瓦小时/吨^[2]；另一方面，仍然有一些老厂的耗电量达 180 千瓦小时/吨。在美国宾夕法尼亚新建的一个水泥厂

(1978年), 其单产耗电量为105千瓦小时/吨⁽³⁾。

1-1-1 自发电或由公共电网供电

在上述例子中, 一个日产2000吨水泥厂需要供电约19000~20000千伏安。这里有一个问题, 是自发电好还是由公共电网供电好呢? 这个问题涉及了许多在具体详细设计时必须考虑的因素, 这些因素最主要的是水泥厂所处的地理位置与外电的引入、以及外电供电的可靠性问题⁽⁴⁾。

一般地说, 电能宜取自公共电网。在技术发达的国家, 这是最经济的办法, 只当没有可靠公共电网供电时, 自发电才是值得的。

表 1-1

一个日产2000吨水泥厂的耗电量 (每周14000吨)							
工 段	连接功率	负 荷	运 行 功 率		运 行 时 间/周	千瓦小时/周	百 分 数
	马力	%	马 力*	千 瓦			
采矿及破碎	1268	75	951	710	每周5天, 每天8小时=40 小时/周	28400	1.8
原料储存	235	75	177	132	每周5天, 每天8小时=40 小时/周	5280	0.3
原料粉磨	5075	75	3806	2839	每周7天, 每天20小时=140 小时/周	397500	24.7
均化, 给窑喂料	2173	75	1630	1216	每周7天, 每天24小时=168 小时/周	204300	127
粘土烘干	756	75	567	423	每周6天, 每天24小时=144 小时/周	62200	3.9
煅烧及冷却	2845	75	2134	1592	每周7天, 每天24小时=168 小时/周	267500	16.6
水泥粉磨2台磨	7970	75	5978	4460**	每周7天, 每天20小时=140 小时/周	608720	37.7
石膏破碎	130	80	104	77	每周2.5天, 每天8小时=20 小时/周	1540	0.1
包装一发运	581	75	436	325	每周6天, 每天8小时=48 小时/周	15600	1.0
其它(冷却水, 修理间, 试验室等)	325	75	244	182	每周7天, 每天16小时=112 小时/周	20400	1.2
合 计	21359		16027	11956		1611440***	100.0

* 美制1马力=746瓦

** 扣除备用泵及空气压缩机的112千瓦

*** $\frac{1611440 \text{ 千瓦小时}}{14000 \text{ 吨}} = 115 \text{ 千瓦小时/吨}$

1-1-2 自备发电站的类型

首先应该说, 原子能发电站由于其规模大, 现阶段把它作为水泥厂的自备发电站是不

现实的。其它特殊类型的发电站, 如水力发电站, 只在特殊的情况下才被采用。

以下各种类型的发电站可以考虑使用:

蒸汽发电站;

柴油发电站;

燃气透平发电站。

蒸汽发电站可以使用各种不同的燃料, 即固体的、液体的或气体的燃料均可使用, 因此, 就有可能使用最经济的燃料或掺合燃料。

蒸汽发电站

由于生产水泥不需要蒸汽, 透平机排出的废蒸汽就必须输送至一个冷凝设备, 因此, 水泥厂只能选用凝汽式透平发电机, 与其他型式的蒸汽透平发电机相比较, 凝汽式透平发电机需要的投资较高。

一个蒸汽发电站不仅要有蒸汽锅炉和透平机, 而且还要有厂房和辅助设备, 锅炉和透平机二项投资费约占发电站设备总投资的50%。单位发电量的热耗多少, 随电站规模的大小和蒸汽状态(压力和温度)而不同, 约在2900至3500千卡/千瓦小时之间^[5]。

在水泥工业中利用回转窑的余热发电多见于本世纪二十年代和三十年代, 有相当多的水泥厂利用这种能源发电, 满足了全部电能的需要。后来这种发电型式被原料粉预热器所排除。用回转窑余热生产蒸汽需要由两种完全不同型式的生产装置的组合, 而这两种生产装置互相间并不总是很好地协调工作, 在回转窑发生异常时, 供给回转窑的热量时多时少, 这种情况对蒸汽的产生十分不利。

回转窑废气的温度较低(随窑的长短不同, 约在800~850°C之间), 要求蒸汽锅炉比直接燃烧加热蒸汽锅炉有大得多的加热面积, 这就增加了投资费用。每吨蒸汽的比热面积大到约200米²/吨·小时^[6]。为了降低废气的含尘量, 通常在回转窑和锅炉之间加装一个重力粉尘沉降室。尽管如此, 仍有粉尘附着于锅炉管上, 降低了热传导。对于附有废气锅炉的干法回转窑, 在单位熟料的总热耗1760千卡/千克中, 约有760千卡用于发电, 有1000千卡用于熟料的煅烧。发电厂发电需要大约6千克蒸汽/千瓦小时^[7,8,9]。余热锅炉产生的蒸汽为15千克/厘米²(蒸汽温度285°C)。回转窑余热发电厂的比发电量(即单位熟料的发电量)大约为0.10~0.11千瓦小时/千克熟料(在产生蒸汽约0.6千克/千克熟料的情况下)。

大型的美国-水泥厂现在仍然用余热锅炉每天生产1百万千瓦小时的电量, 相当于该厂用电量的80%^[10]。

有一个与此有关的有趣报道, 说是加利福尼亚一个水泥厂在干法回转窑后面安装了两台余热锅炉, 于1979年6月装成^[11]。这是在美国水泥工业中, 中断了约30年之后第一次重新装配的余热锅炉。

有一个更新的报道说, 加利福尼亚波特兰水泥公司(美国)的科尔顿(Colton)水泥厂, 有一台长的(尺寸为4.25×3.65×149米)干法回转窑, 产量为1000吨熟料/24小时, 该厂打算利用650~700°C的热废气在两台蒸汽锅炉内进行发电, 每一台锅炉将驱动一台12.5兆瓦的蒸汽透平机, 因此该公司的发电容量将为25兆瓦。另外, 为了独立自主满足水泥厂的用电, 还用直接烧煤的锅炉补充蒸汽, 这样, 尚有电能馈送至公共电网。这项利用余热设备已于1982年开始建设, 将于1985年建成, 设备投资费将为4亿美元^[11a]。

柴油发电站

在油价便宜的地方，如多数石油产油国，柴油发电站显出投资费低和建造时间短的优点。在公共电网供电能力太弱的时候，柴油发电机还能有效地满足峰值负荷的需要。柴油发电站的主要特点是：单位发电量的能耗低，占地面积小，冷却水消耗少，起动时间短，以及上面所述的投资费用低；但其缺点是柴油发动机的噪声水平高。这种类型发电的例子是：在远东的一个水泥厂有22兆瓦的柴油发电站最近交付使用，这个发电站由四台6千伏、5400千瓦主发电机及一台600千瓦的副发电机组成，设备的机械部分的总价为7百万美元（按1976年的价格计算），燃料的消耗为225克柴油/千瓦小时^[12]。假定采用1000千卡/千克低热值柴油（41868千焦/千克），则单位发电量的热耗便为 $1000 \times 0.225 = 2250$ 千卡/千瓦小时（9420千焦/千瓦小时）。

同样，克虏伯·波利西阿斯（Krupp Polysius）股份公司1977年在沙特阿拉伯新水泥厂的建设中，同时建造了一个柴油发电站，其额定功率为45兆伏安。

所装的5个中速V-12缸柴油发动机，每个分别与一个9000千伏安（工作在环境温度50°C及 $\cos\varphi = 0.8$ ）同步发电机直接耦合，转速为428转/分钟。这些飞轮形发电机向6千伏/50赫开关盘总母线馈电，开关盘内有发电机所必需的保护装置。在额定输出功率下，柴油机的耗油量在210克/千瓦小时以下。必须采取特殊的预防措施防止来自采矿爆破的振动，所有发电机底盘装在防振弹簧座上，每台装40个弹簧座，能支承总重620吨^[12a]。

图1.1示出一个4×7.5兆伏安、6.3千伏的柴油发电站，转速428转/分，由联邦德国埃兰根西门子（Siemens）公司制造。

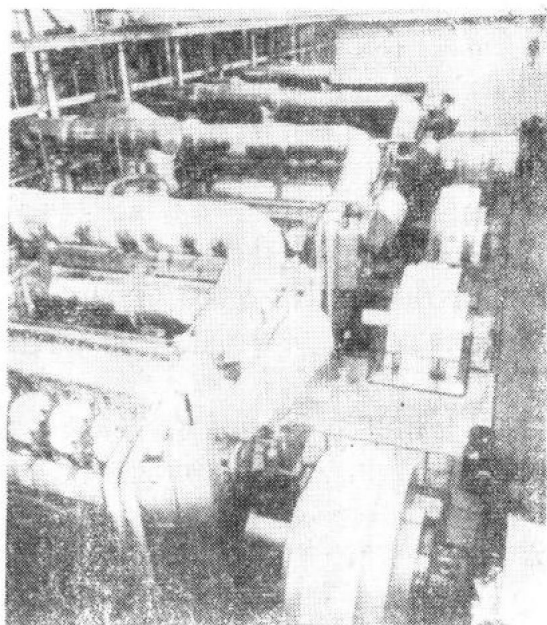


图 1-1 柴油发电站4×7.5兆伏安，
6.3千伏，428转/分钟

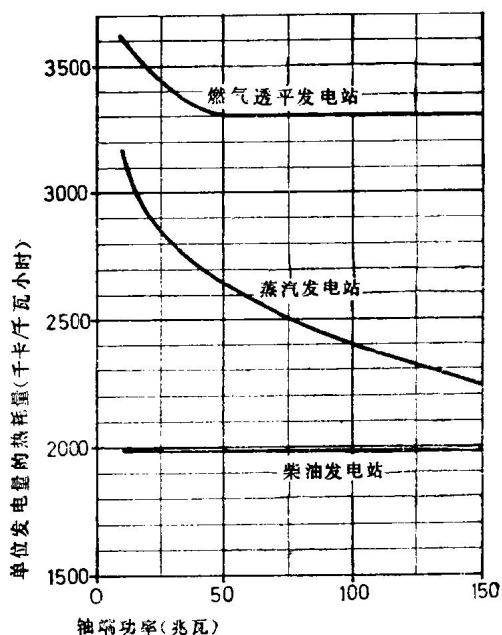


图 1-1-a 各类型发电站单位发电量的热耗

联邦德国克鲁克纳-洪堡-德兹（KHD）公司制造的柴油发动机，其燃料消耗为206~

210克/千瓦小时。所使用的燃料为煤气油，其热值为41900千焦/千克； $41900/4.1868 = 10007$ 千卡/千克。由此得单位发电量的热耗为 $10007 \times 0.206 = 2061$ 千卡/千瓦小时或8629千焦/千瓦小时^[13]。

高增压柴油发动机的轴端功率达到输入燃料能的43%，恰当地利用冷却水的热量和废气的热量，燃料能的利用率可达80%以上。无论是纯馏出油还是馏出油与残油的混合油，都可用作柴油发动机的燃料，重油（中间蒸馏油和船用油的混合油）也可以使用。对中速4冲程活塞发动机，质量最差的重油也可使用（这种油当然比纯油便宜）。还有普通的船用重质燃料油也可使用^[14]。排出的废气成分有^[15]：

CO含量	100ppm
碳氢化合物	120ppm（在满载时）
一氧化氮含量	850ppm（在满载时）
烟灰含量	几乎没有烟灰

图1.1a表示柴油发电站、蒸汽发电站和燃气透平发电站单位发电量的热耗的比较曲线。从图中可以知道，柴油发电站的单位发电量的热耗最低，只有2000千卡/千瓦小时；而燃气透平发电站单位发电量的热耗最高，蒸汽发电站单位发电量的热耗则居于中间位置^[16]。

燃气透平发电站

燃气透平发电机使用燃料油或天然气。容量在2000至2500千瓦之间的燃气透平发电机有最高的效率。燃气透平发电站的投资费一般低于蒸汽发电站或柴油发电站的投资费，土建方面的费用也低。透平机的突出优点是，在运行时不用或只用少量的冷却水，它在起动后很短时间内即可达到满载，起动可靠性高，这可从世界各地喷气式飞机每天成千上万次的起动得到证明。其热效率为18~30%。但是透平发电机只在那些燃油或燃气价格便宜、燃料比热耗（单位发电量的热耗量）低也无关重要的地方使用才显现出其优越性。透平机的燃料费用比容量大小相当的柴油机的约高30%^[17]。在水泥厂，燃气透平机的废气可以用于粉磨烘干设备^[18]。

1-2 由公共电网供电

1-2-1 工厂总变电站

在多数工业国，电能可以以适当的价格买到，工厂总变电站的投资费大约只占自建发电站投资费的7~8%。

同时，在正常情况下，工业化国家公共供电系统的可靠性是令人满意的。

在公共供电系统不可靠、而且电价又较贵的一些国家，自发电则是值得的；在某些情况下，取得自发电的许可证又是不可能的。

因为多数公共供电电网的电压是60千伏，所以设一个工厂总变电站是必需的。未来的电网电压规划为150千伏。水泥厂内的供电系统电压当前多数为6千伏或3千伏。

与此有关而又值得介绍的是占地面积少的SF₆高压开关设备。六氟化硫(SF₆)是一种耐压强度比空气大2.5倍的气体，比空气重5倍，无臭、无毒、不可燃，适用于灭（电）

弧。所有带电部件装在充 SF_6 气体的压力容器内(压力4.5巴)。气体的损耗每年小于1%。按制造厂说明, 这种设备5~10年才需维修一次。一个150千伏的 SF_6 开关设备占地面积仅

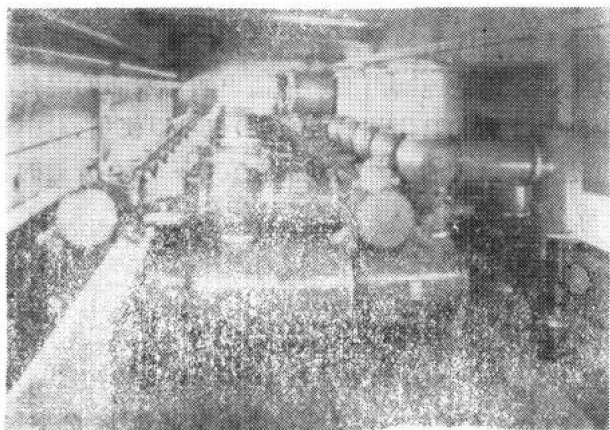


图 1-2 六氟化硫 SF_6 绝缘高压开关设备

80平方米, 而一个同样等级的普通空气开关设备则需800平方米。 SF_6 开关设备已经被用于水泥工业^[18]。图1-2所示为以六氟化硫(SF_6)为绝缘的高压开关设备, 由联邦德国埃尔兰根西门子公司制造。

此外, 还有所谓真空开关和磁吹开关, 可频繁操作, 性能稳定。近来, 这种开关在水泥厂用作磨机电动机的开关。

通常, 工厂总变电站建在露天的地方, 而且是在水泥厂迎风的一侧。为了防尘而把变电站建于室内的做法, 因耗资高已经不采用了^[19]。变电站的所有权应该归水泥厂还是归公共供电网, 应从技术上和经济上研究之后作出决定^[20]。

1-2-2 电气设备的投资费

为了降低水泥单位产量的费用(即生产水泥单位重量的费用), 应不断提高水泥生产设备的能力, 目前已有生产8000吨熟料/24小时的回转窑, 而在25年前日产500吨的回转窑就被认为是一个大的生产设备了。但是增加机器生产能力的同时电气工程也得跟上, 结果, 电气设备费用迅速增加。目前电气设备费用已占水泥厂全部机器设备费用的25~30%。投资费高的原因有:

- 使用高质量的开关设备
- 精密的自动化传动装置
- 自动化传动装置数量较多
- 更完善的控制设备
- 过程控制采用新方法^[21]。

1-3 配 电

1-3-1 高压、中压和低压的划分

电压一般划分如下:

高压	45千伏及以上
中压	6千伏或3千伏
低压	500伏或380伏
控制电压	220伏或110伏
辅助电压及手灯电压	24伏、42伏或60伏

这里应该说明,水泥厂的电气技术人员把6000伏或3000伏看作高压,而供电人员则称这种电压为中压,这常常引起误解。

1-3-2 配电方案的评述

水泥厂采用的配电方案一般视工厂设备的分布情况而定。对于占地有限的小厂,应采用中央的中压配电方案,低压变压器放在中压配电开关设备的附近。这样,中压和低压的配电形成放射式的供电系统。

但是现代的水泥厂规模很大,或者由于地理条件的缘故,占地面积很大,宽度往往在1000米以上,因此就应优先选择分散的供电方案。在这样的工厂,各个厂区的接入功率可能达到5~8兆伏安,故在重点用电的附近建立中压变电站,采用分散的配电方案就是十分必要了,不这样就不可能减少电力电缆的费用。

目前,大型电动机和大型装置的馈电电压多数仍然是2.4或6.6千伏。但是,由于这些重点用电设备的功率进一步提高,已经明显地看出,在水泥厂将会装设多种电压的中压配电。超过1兆瓦的大型电动机的馈电电压在6~10千伏之间,全厂的主配电电压将超过10千伏。相应地,开关和开关设备的工作电流、短路跳闸能力,以及一些经济方面的问题,必须适应提高了的配电电压。

另一方面,低电压大功率的电动机也在发展,高至1000伏的低压电源也须提供使用。

工厂的配电线路多数做成放射形网路,使每一套生产设备有自己的独立电源;少数做成环形网路或多路环形网路。放射形网路被认为比较可靠,水泥厂一部分生产设备出了故障,其他设备在一定时间内不受影响,仍能继续工作。至于环形网路,只要付出较多的附加费用,也是可行的,但考虑到现在高压、中压及低压的开关设备性能比较可靠,采用这种网路已被认为是不必要的了。

1-3-3 配电方案实例

以下叙述现今干法水泥厂配电方案的三个实例(由联邦德国科隆洪堡-韦达格公司提供)。

a) 有两条生产线的水泥厂的配电(不带备用变压器)(图1-3)

三个30/6千伏变压器供全厂用电。在必要时,每个变压器在

强迫风冷的情况下可以超容量35%使用。在正常使用情况下,每个变压器的负荷约为容量的80%,每个变压器分别连接互相分隔的中压母线。当其中的一个变压器停止供电时,其余二个变压器自动进行风冷(由各个变压器的测温传感器测量温度),供全厂熟料生产用

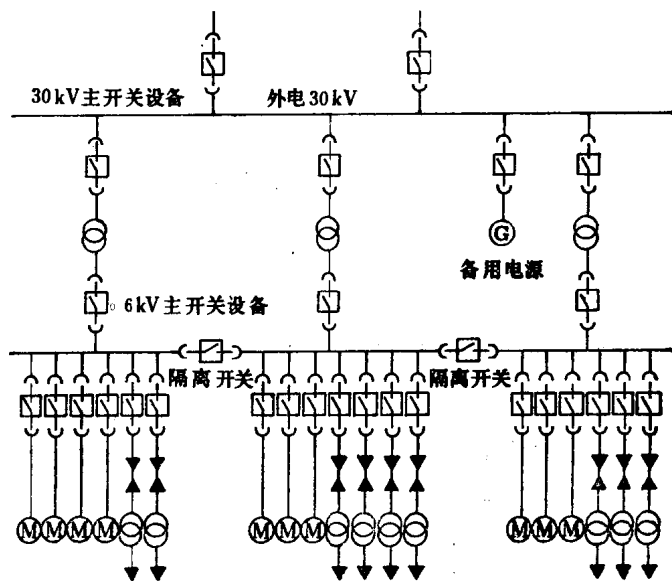


图 1-3 水泥厂的配电方案

外电30千伏,厂内主配电6千伏,备用供电30千伏,单母线,放射形配电网路

电的需要。中压并联母线由中压隔离开关分段接入或断开。

b) 带一个备用变压器的配电方案 (图1-4)

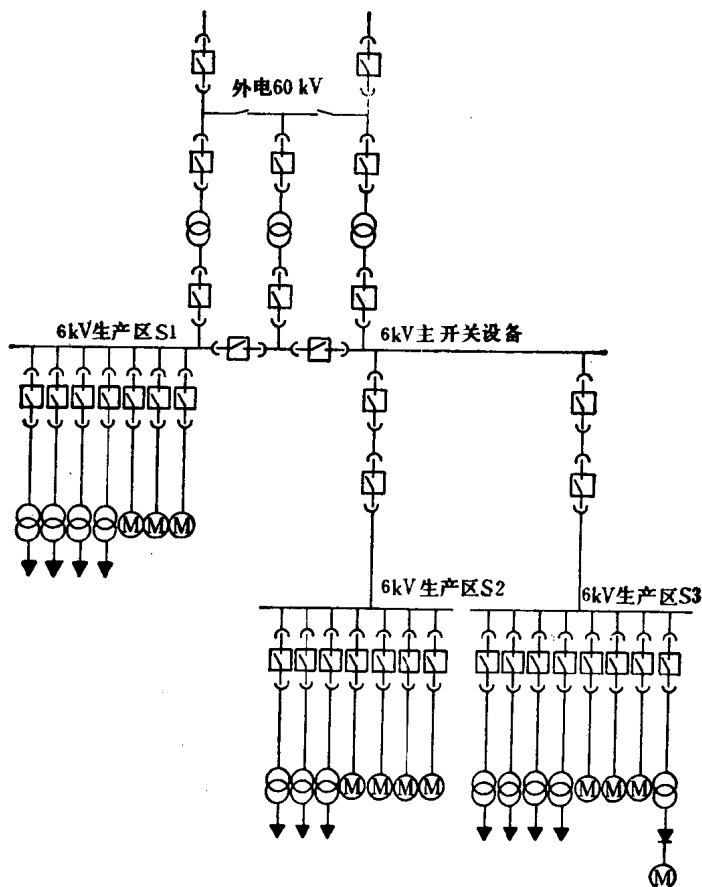


图 1-4 水泥厂的配电方案

外电60千伏，厂内的主配电包括主生产区 S_2 和 S_3 的独立母线，6千伏，单母线，放射形配电网路，不设备用高压电源

用三个6千伏的变压器供电，负荷的分配是：全部熟料生产（生产区 S_2 和 S_3 ）的用电由一个变压器供给，厂内其余部分（ S_1 ）的用电由另一个变压器供给。当这两个变压器中之一需要停用时，在备用线路的第三个变压器随时可以接替 S_2 和 S_3 或 S_1 的变压器的任务。另外，生产区 S_2 和 S_3 的中压母线是分开的，各有其负载开关。

c) 带双母线的配电方案 (图1-5)

双母线配电方案祇在这样的情况才值得推荐使用，即供电来自两个独立的外电电源，或来自一个公共外电源和一个厂内自发电电源。在这样的情况下，中压为11千伏，因为厂内自发电为11千伏。由于自发电电厂容量的关系，全厂设备分为四部分供电。双母线系统节省了隔离开关，因为每一路主供电有自己的母线，且每一母线有带全部或部分负载的能力^[22]。

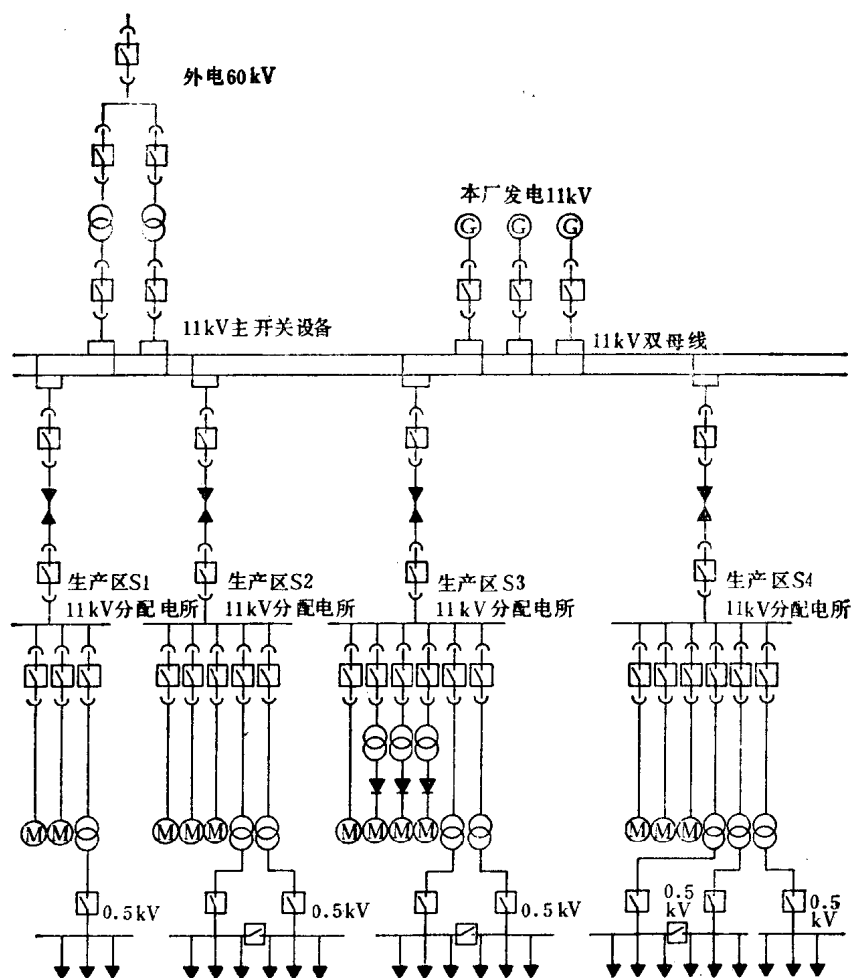


图 1-5 水泥厂的配电方案

外电 60 千伏，自发电 11 千伏，向主要耗电部分和 11 千伏大型电动机重点供电，11 千伏总配电用双母线，主生产区 11 千伏分配电用单母线，放射形电网配电

1-3-4 测量与指示仪表

应该测量全厂的用电量，也应测量各个生产区的用电量，每路馈电都应该装设一个电度表和一个电流表，特别是磨机及其附属设备，应该有其专用的电度表和指示仪表，以便了解各台磨机、提升机和选粉机的工作效率。

当电能购自公共外电网时，电能的测量十分重要。所以，在供电电网测量仪表的邻近，应该装设水泥厂自己的用电测量仪表和记录仪表，包括电度表、最大电流表及无功电流表。最大电流表及无功电流表测得的数字是审定总电费的重要数据。

大型驱动装置的起动，要消耗尖峰电能，这可以从最大电流表看到，因此，应该避免同时起动多个大型驱动装置，使起动电流不致相加，也可在起动大型驱动装置时关掉厂内其它某些部分。