

- 21 世纪应用型本科教材
- 上海市教育委员会高校重点教材建设项目

工业炉设计基础

徐兆康 编著

上海交通大学出版社



责任编辑 / 东鲁红
封面设计 / 雨 风

www.jiaodapress.com.cn

bookinfo@sjtu.edu.cn

ISBN 7-313-03504-7



9 787313 035042 >

ISBN7-313-03504-7/TK·073

定价:26.00 元

21 世纪应用型本科教材

上海市教育委员会高校重点教材建设项目

工业炉设计基础

徐兆康 编著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书是由上海市教委组编的上海市“十五”重点教材建设项目,是21世纪应用型本科通用教材。本书详细论述了工业炉设计的基本原理、典型的工业炉设计计算方法,突出应用性与实用性,尤其注重学生综合运用专业知识能力的培养。全书共分九章。第1章为设计概论,第2章为初步设计,第3章详细介绍了技术设计的基本内容,第4章介绍了焚烧炉的设计,第5~7章论述了与工业炉有关的安全与环保及投产和开炉前所要做的工作,第8章介绍概预算的内容,第9章阐述了工业炉制图要点。

本书是高等院校热能工程专业和环境科学与工程专业的教材,同时也可供从事热能工程、环境保护、资源利用等工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

工业炉设计基础/徐兆康编著. —上海:上海交通大学出版社,2004

21世纪应用型本科教材

ISBN7-313-03504-7

I. 工... II. 徐... III. 工业炉—设计—高等学校—教材 IV. TK175

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第113985号

工业炉设计基础

徐兆康 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路877号 邮政编码200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

上海锦佳装潢印刷发展公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×960mm 1/16 印张:14.5 字数:262千字

2004年1月第1版 2004年1月第1次印刷

印数:1-1050

ISBN7-313-03504-7/TK·073 定价:26.00元

版权所有 侵权必究

前 言

为贯彻国家教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的精神,上海市教委决定实施一批市重点教材项目。《工业炉设计基础》属上海市教委资助的高校重点教材建设项目之一。

本书是编者依据自己多年讲授本课程的基本内容和体系,对《工业炉设计基础》(讲义)进行充实、完善,在市教委组织评审的基础上修改而成的。

工业炉范围很广,编写本教材的指导思想是:以工程实用为主,同时结合必要的基础理论知识,力图使学生通过本课程的学习,根据工业炉的具体状况,学会一定的实际工作能力,为工业炉的设计和管理操作打下良好的基础。

全书共分九章。第1章为工业炉设计概论;第2章为初步设计,讲述工业炉设计的原则;第3章为技术设计,按照工业炉的热工特性,重点以连续式加热炉为例,介绍了各系统的设计计算方法;第4章为固体废物焚烧炉设计,作为工业炉的一个分支,焚烧炉有其特殊的内容,本章作了一个简要的介绍;第5章为工业炉安全与防爆,介绍了工业炉事故现象及采取的防爆措施;第6章为工业炉污染及防治,介绍了工业炉燃烧污染及其防治;第7章为工业炉的投产及开炉准备工作,说明了在工业炉投产及开炉前所需要做的工作;第8章为概预算初步,主要介绍了概预算在工业炉基建中的作用;第9章是工业炉的制图要点,主要是针对与机械制图的不同之处作一个补充说明。

本书由上海应用技术学院徐兆康主编,并编写了前言、第1章、第3章、第4章、第6章;苑安民同志编写了第8章、第9章;郭静同志编写了第2章、第5章、第7章。

在本书的编写过程中,先后征求了承担审稿工作的郑金标教授(华东理工大学)和刘聿拯副教授(上海理工大学)的意见,得到了他们的热情帮助和指正,同时,也得到了许多同行的支持帮助;本书还参考引用了一些从事教学、科研、生产工作的同志撰写的教材、论文等有关资料文献;徐惟能同志承担了图文的打印编辑工作;本书的编写还得到了上海市教委重点教材建设项目的资助,谨在此一并表示衷心的感谢!

限于编者的水平有限及经验不足,书中缺点错误当在所难免,敬请读者批评斧正。

徐兆康

2003年12月

目 录

1 工业炉设计概论	1
1.1 绪论	1
1.2 设计的基本环节	3
2 初步设计	6
2.1 设计任务书	6
2.2 设计所需的已知条件	6
2.3 能(热)源的选择	7
2.3.1 固体燃料	8
2.3.2 液体燃料	8
2.3.3 气体燃料	8
2.4 选择炉型	9
2.4.1 工业炉特性	9
2.4.2 物料的受热面和料坯在炉内的放置	11
2.4.3 料坯装出炉方式	12
2.5 选择燃烧装置的形式及确定其安放位置	12
2.6 选择换热装置的形式及确定其安放位置	15
2.7 工业炉的供风和排气系统及其设置位置的确定	17
2.8 燃烧污染和环境保护	19
2.9 工业炉机械化与自动控制	21
2.10 编制文件,绘制炉型示意简图	23
3 技术设计	24
3.1 设计计算的一般步骤	25
3.2 燃料燃烧计算	25
3.2.1 计算的内容及其目的	25
3.2.2 燃烧计算的已知条件	26
3.2.3 燃料燃烧计算步骤	26
3.3 工业炉的热工制度	32

3.3.1	炉温制度	34
3.3.2	供热制度	41
3.3.3	炉压制度	42
3.4	金属加热计算	43
3.4.1	计算的简化	46
3.4.2	预热时间的计算	47
3.4.3	加热时间的计算	51
3.4.4	均热时间的计算	58
3.4.5	恒温炉内的薄材加热时间计算	62
3.4.6	变温炉内的薄材加热计算	63
3.4.7	几项指标的关系	64
3.4.8	有关金属加热计算中一些参数的确定	64
3.5	工业炉主要结构的设计	92
3.5.1	炉膛尺寸的确定	92
3.5.2	炉底结构	98
3.5.3	出料端结构	100
3.6	炉底水冷构件的设计	102
3.6.1	炉内水管形式选择与管件计算	102
3.6.2	水冷系统	106
3.6.3	炉底水管的强度计算	106
3.7	炉体砌筑材料和尺寸的确定	108
3.7.1	炉膛内壁温度及其炉壁材料的选用	108
3.7.2	炉体砌砖及其尺寸	109
3.7.3	炉底的砌筑	110
3.7.4	炉墙的砌筑	112
3.7.5	炉顶的砌筑	112
3.7.6	炉衬厚度的选择	114
3.8	钢架结构的确定	114
3.8.1	拱顶的体积和重量	116
3.8.2	钢结构计算	116
3.9	工业炉热平衡和燃料消耗量的计算	118
3.9.1	热量收入	119
3.9.2	热量支出	120
3.9.3	燃料消耗量及热耗	127
3.9.4	工业炉热效率	129

3.10	燃烧装置的选择和烧嘴的点火	129
3.10.1	燃烧装置的选择	129
3.10.2	烧嘴的点火	132
3.11	换热器的设计计算	133
3.11.1	换热器的种类和用途	133
3.11.2	换热介质的流动形式	134
3.11.3	计算的已知条件	135
3.11.4	计算的内容	136
3.12	管道系统的设计及计算	148
3.12.1	炉前煤气、空气管道	149
3.12.2	炉前重油和蒸汽管路	157
3.12.3	炉前冷却水管道	160
3.13	排烟系统设计计算	160
3.13.1	烟道设计计算	161
3.13.2	烟囱设计计算	165
3.14	工业炉机械种类及特性、设计参数的确定	171
3.14.1	推钢机和出钢机	171
3.14.2	步进炉机械	173
3.14.3	环形炉机械	174
4	固体废物焚烧炉设计	176
4.1	概述	176
4.2	固体废物的特性	177
4.2.1	固体废物的物理特性	177
4.2.2	固体废物的化学特性	178
4.2.3	固体废物的毒害性	180
4.3	影响固体废物焚烧的主要因素	180
4.3.1	固体废物的性质	180
4.3.2	停留时间	181
4.3.3	温度	181
4.3.4	湍流度	181
4.3.5	空气消耗系数	182
4.3.6	其他因素	182
4.4	固体废物焚烧过程中物料平衡及热平衡	182
4.4.1	物料平衡	182

4.4.2	热平衡	183
4.5	焚烧技术的特点	186
4.6	焚烧炉炉型	186
5	工业炉安全及防爆	193
5.1	工业炉事故现象及其原因	193
5.1.1	燃烧爆炸事故	193
5.1.2	熔剂蒸汽的爆炸	193
5.1.3	可燃性可控气氛的爆炸	194
5.1.4	蒸汽爆炸	194
5.1.5	粉煤爆炸	194
5.2	防止爆炸	195
5.2.1	安全燃烧的基本条件	195
5.2.2	提高燃烧设备安全程度的措施	195
6	工业炉污染及防治	196
6.1	消烟除尘	196
6.2	有害气体及其防治	196
6.2.1	二氧化硫(SO_2)	196
6.2.2	氮氧化物(NO_x)	197
6.3	垃圾焚烧与污染控制及防治	197
6.4	垃圾焚烧烟气排放标准	199
7	工业炉的投产及开炉准备工作	201
7.1	投产前的准备工作	201
7.1.1	炉体	201
7.1.2	管道系统	201
7.1.3	排烟系统	202
7.1.4	燃烧装置	202
7.1.5	测量与调节仪表	202
7.1.6	附属机械设备	202
7.2	烘炉	203
7.2.1	烘炉步骤	203
7.2.2	确定烘炉制度的原则	203
7.2.3	烘炉方法	204

7.2.4	烘炉操作	204
7.3	使用保护气体的工业炉的开炉、停炉操作	205
7.3.1	开炉操作	205
7.3.2	停炉操作	205
8	概预算初步	206
8.1	概预算制度	206
8.1.1	概预算必须符合市场经济的要求,适应建设工程的特点	206
8.1.2	概预算必须具有特殊的程序	206
8.2	工业炉概预算的作用	207
8.2.1	设计概算在基建中的作用	207
8.2.2	施工图预算在基建中的作用	207
8.3	设计概算、施工预算和施工图预算的区别	208
8.3.1	设计概算和施工图预算的区别	208
8.3.2	施工预算和施工图预算的区别	208
8.4	基建工程项目的划分	209
8.4.1	建设项目	209
8.4.2	单项工程	209
8.4.3	单位工程	209
8.4.4	分部工程	210
8.4.5	分项工程	210
8.5	工程量	210
8.6	工程预算书的编制	211
9	工业炉制图要点	213
9.1	工业炉总图布置	213
9.2	总图上的表格填写内容	214
9.2.1	如何在标题栏内填写图纸名称	214
9.2.2	金属部件表	214
9.2.3	耐火材料表	215
9.2.4	技术性能表	215
9.2.5	图例	216
9.3	若干细节	216
9.3.1	标高对于操作者的重要性	216
9.3.2	砌筑施工图	217

9.3.3 金属部件组装图	217
附录.....	218
参考文献.....	220

1 工业炉设计概论

1.1 绪论

一般认为,工业原材料在冶炼、加工或成品的制造过程中,为实现预期的物理变化或化学变化所需要的加热装置,统称为工业炉。

作为一种重要的热工设备,工业炉广泛应用于物料的焙烧、干燥、熔化、熔炼、加热和热处理等各种生产过程中,不仅数量众多,而且种类繁多。工业炉工作的好坏将直接关系到产品的产量、质量、能耗、成本和环境污染等多项技术经济指标,因而在各工业部门的生产中都占有重要的地位。

对工业炉的基本要求是:产品的质量和产量首先要满足要求;燃料或其他能源的消耗要低;建炉投资和运行费用要低;使用寿命长;操作人员的生产条件要好;污染物的排放量要符合环保的要求。一座好的工业炉应尽可能同时满足上述各项要求。为保证产品的质量,要准确地控制炉内的温度和气氛,选择合适的筑炉材料。工业炉的生产能力必须与生产过程所要求的产量相适应。为了节约燃料,在工业炉的设计和操作中,必须重视热量在炉膛内的充分利用,并要充分回收余热。为了降低建炉的投资和运行的费用,应提高工业炉单位容积(或炉底面积)的生产能力,简化工业炉结构。工业炉的废气、废水、废渣中往往含有有害物质,必须采取措施,使各种有害物质的排放量不超过国家或地区的规定标准。

工业炉按工艺用途分,有冶金工业中的各种冶炼炉、加热炉、热处理炉,机电工业中的锻造炉、干燥炉、热处理炉,陶瓷工业中的隧道窑、各种玻璃熔炼炉、热处理炉,石化工业中的焦化炉、加热炉、裂解炉,环保工业中的废料焚烧炉,建材工业中的水泥窑等。按热源分,有煤气炉、油炉、煤炉、电炉;按热工制度及操作方式分,有恒温炉、周期炉及连续炉等。按结构形式分,由于涉及各个行业,更是不胜枚举。由于工业炉所涉及的工艺过程繁多,我们可以通过掌握工业炉的基本原理来学习工业炉设计的基本方法。

本书所介绍的工业炉设计只是最常用的一些典型炉型设计。掌握好这方面工业炉设计的基本方法,将有助于其他类型工业炉的设计。

虽然工业炉的范畴如此之宽,涉及的工艺过程如此众多,但作为工业炉,热源向物料的传热是一个基本过程,每一个工业炉都会有此过程。因此,要使工业炉的工作达到“优质、高产、低消耗、少污染”的基本目标,除了掌握正确的工艺操

作之外,还必须要有合理的炉体结构予以保证。

工业炉的设计从来都离不开工艺而单独进行。设计人员在设计时,首先必须根据工艺的要求进行设计,使工业炉能够满足工艺制度所规定的要求。而从能源角度看,工业炉又是国民经济中的耗能大户。因此,如何提高工业炉热效率,合理使用一次能源,充分而有效地回收并利用二次能源,在当今能源紧缺的形势下,更显出其必要性。在工业炉的设计中,所有降低能耗的有效措施,都应力图采用。

工业炉设计的目的是参考现有炉型,以热工理论为指导,设计出结构更完善的炉体结构。优秀的设计者不应是现有工业炉的抄袭者,而应该是把现有工业炉变成更新、更完善的工业炉的创造者。对已定型的有成熟经验的工业炉,有时设计时不进行理论计算,而是凭经验数据直接确定加热时间或者通过选用有效炉底强度,从而确定出工业炉的基本尺寸。这样不仅简单易算,而且排除了理论计算时因各种系数或参数选取不当而造成的误差,这种方法稳妥可靠。但当设计新炉型或采取特殊的温热制度时,可参考的经验不足,而理论计算恰好能把工业炉的热交换条件和物料加热时间联系起来,反映出工业炉的热工特点。所以对新炉型和采用特殊温热制度的工业炉,理论计算是必需的。对一般连续加热炉,理论计算虽然只具有一定的参考价值,但是作为一种设计方法,特别是科技水平快速发展的今天,理论计算法仍然相当重要。即使是凭经验设计,也是在专业理论的基础上,广泛采纳国内外先进经验,进行优化设计并加以改进。

工业炉的结构(几何形状、尺寸、筑炉材料的种类等)和热工操作(燃料量及其分配、空气量及其分配、闸门的开启度等)的变动,会影响炉内的热工过程(包括传热、燃烧及气体运动等)。而热工过程的变动又会影响工业炉的生产指标(产品质量、单位生产率、单位热耗、工业炉使用寿命、污染物的排放量等)。人们的目的是提高生产指标,但人们所能直接规定或操纵的因素,既不是热工过程参数,也不是生产指标,而是结构和操作参数。因此,工业炉的结构和操作之间,必须相互适应,各热工过程之间也必须相互配合。同时,各生产指标之间也要相互关联。

一座新的工业炉的性能好坏将直接影响其生产质量和能源消耗,而原始设计合理与否将起决定性的作用。试想一座设计不合理的工业炉,势必显得先天不足,即使以后经操作调整,也难以达到理想的境界。而一座设计合理的工业炉,加上操作人员的精心管理,则如虎添翼,定能创造出良好的技术经济指标。作为设计者,设计出技术先进、结构合理完善的工业炉,则是首要的任务。

1.2 设计的基本环节

与其他设计相同,工业炉设计也是利用人们所掌握的理论知识和经验,对要制造的设备进行预先的计算,确定结构,绘出图纸(指导施工)的过程。因此,同纯理论演绎相比,它需要一定的实践经验,有较多的经验确定部分。

无论什么设计,对设计项目及工艺的仔细研究,对相关设备及环境的调查是必不可少的。在作了充分的调查研究之后,才有可能进行优良的设计。在完成了调研之后,正规的设计一般由初步设计、技术设计和施工图设计等基本环节组成。

由于各种工业炉的工艺和热工特点不同,工业炉的设计步骤和方法也不尽一致,须视具体情况而定。设计过程中,可以作适当的调整。

(1) 初步设计。根据工艺的要求、国家的技术经济政策和工厂的具体情况,从所掌握的理论知识和实践经验出发,通过广泛的调查研究,查阅国内外资料,归纳总结后,选择炉型、热源、装出料方式和各种主要辅助装置的形式,并确定工业炉在车间的布置情况。初步设计不需要作仔细计算,只是一个初步选择,但在很大程度上又决定了工业炉的结构及其生产概貌。为了使设计方案最优,往往要做出几个初步设计方案,在综合考虑工业炉的技术经济指标和生产规模的基础上,确定工业炉应采用的机械化和自动化程度,经分析对比后,选择最佳方案。

所谓的最佳方案指的是投资少、产出率高、能耗低、机械化和自动化程度高、操作方便、不污染环境的方案。同时,做了几个初步方案往往不可能有一个在各个方面都同时达到最佳的技术经济指标。此时在作方案论证时,应该综合考虑,权衡利弊。分析主次后,再选一种在各个方面相对较好的初步方案。

在整个初步方案的确定过程中,需要大量的理论论证和丰富的实践经验,作多方面的考虑。必须指出的是,一个车间中工业炉方案确定得好坏与否,会影响到整个工厂的生产、能源供应情况,甚至是地区供电情况、环保情况。所以,有必要做一个全面仔细的考虑。事实上,往往要花去大量的时间,作反复论证之后才能确定初步方案。

(2) 技术设计。初步方案确定后,即可进行技术设计。它在初步设计的基础上进行全面的热工计算、力学计算、炉体总图及其他重要系统图的绘制、建炉费用的计算等。如图 1-1 所示。

热工计算指的是燃烧计算或电功率计算、传热计算、气体力学计算及管(烟)道计算等。力学计算指的是炉用构件及其他运动部件的机械强度计算及运动计算,如梁、柱、杆的尺寸确定、液压缸或电动缸所需的推力计算。炉体总图及其他重要系统图将技术设计的结果以图纸的方式表示出来。先绘制出草图,通过对

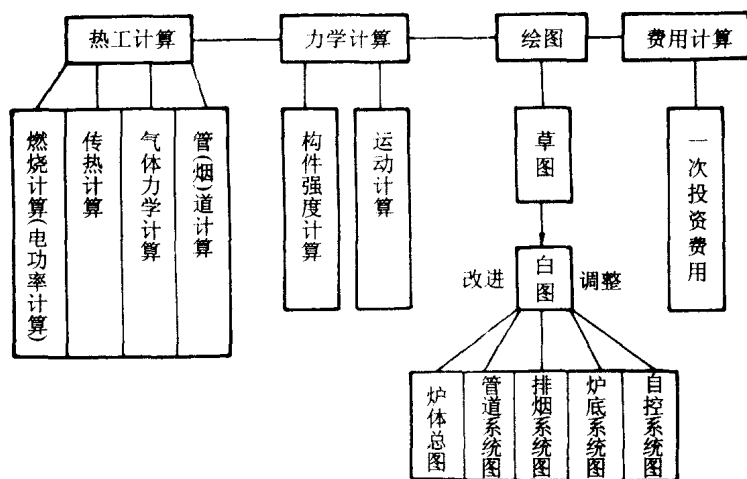


图 1-1 技术设计框图

设计作仔细分析、改进,做出相应的调整后,才能绘出白图。建炉费用计算不包括施工费用。

由于技术设计不是最后付以施工的设计,因此,设计本身还要在施工设计中作出调整。费用计算也不是最后准确的建炉费用,但这种建炉费用与最终的建炉费用大体相等。

整个技术设计阶段以热工热能专业设计计算为主,但设计人员必须考虑其他设备或系统的设计条件及限定因素,需要与其他专业人员进行磋商。比如,与机械专业人员磋商工业炉机械的设计;与自控专业人员磋商自动化系统的设计;与环保专业人员磋商环保设备的设计;等等。

工业炉的技术设计是建筑工业炉的基本技术经济资料和依据。

(3) 施工设计。技术设计之后便可进行施工设计。施工设计是各专业人员全方位合作,以技术设计为基础,把技术设计的总图按专业拆成系统图、零件图的设计阶段。如由土建专业人员负责工业炉的土建工程设计;由机械专业人员负责工业炉的机械设计或其他工业炉大型部件设计;由工业自动化专业人员负责工业炉的自动控制设计、机电自动化设计;由动力专业人员负责余热锅炉设计;由环保专业人员负责除尘设备的设计;等等。

在审定技术设计总图正确无误后,由各专业人员进行施工设计。为了能让其他专业人员进行施工设计,热工热能专业人员在技术设计定稿后,应向机械专业人员提供炉底机械最大水平行程、升降距离、炉底总重量、总体尺寸限制等数据资料。

在这个阶段,各专业人员间会相互接触进行磋商,以找出一个各方面都较容易做到的参数或条件。

同时,由于在技术设计中细部结构没能仔细表现,因此在施工设计中不仅要仔细表现数量,要将总图拆成可供指导加工的零件图;而且,当零件图和总图发生矛盾时,必须对某一方做出调整或两方面各调整一部分。

在施工设计图完成之后,经审核无误,再进行编制材料概预算、工程量计算并制定施工进度等计划,从而完成施工前的全面准备工作。

以后的工作是进行零部件加工、制作、订货和总装,虽然和设计计算没有直接关系,但设计人员是必须负责的。如施工服务就是指设计人员在现场为施工做各种咨询工作,一旦出现问题不能在施工中解决,那么,必须对施工图作局部调整改动。

作为工业炉的设计基础,本书着重介绍工业炉的初步设计和技术设计。

2 初步设计

2.1 设计任务书

设计任务书是设计工作的依据。它给出了设计的原则、要求和指示。设计任务书必须明确、具体和详细,一般应包括以下内容:

- (1) 设计项目名称、设计指导思想。
- (2) 产品规格、数量和质量指标。
- (3) 原材料(料坯)及生产工艺流程。
- (4) 总投资(包括耐火材料、金属材料、附属设备及部件、施工及其他费用)。
- (5) 总建筑面积(除工业炉本体外,还应包括原材料、成品及备品备件堆放地)。
- (6) 其他事项(如设计、施工单位的配合和分工,以及由各有关单位明确或要解决的问题)。

2.2 设计所需的已知条件

作为一种重要的热设备,工业炉首先要在结构和热工制度方面满足加热工艺要求。围绕这个要求,在做出多种方案论证、选出初步最佳方案之前,要做充分的调查研究。为此,需要掌握以下一些原始资料:

(1) 工业炉的用途和工艺要求、生产线的布置情况。如工业炉是用于加热物料还是熔炼物料,是用于进行压力加工前的金属加热还是用于金属热处理等。不同的工艺要求有相应的热工制度。如钢料的加热温度、加热速度、出炉时钢料的内外温差和炉内气氛要求等。

(2) 行业的技术政策、所能提供给工业炉的热源情况(电能或各种燃料)。要了解变电站的能力;对于燃料,要知道煤的成分、灰分熔点等;油的成分、重度、牌号、粘度等;煤气的成分、重度、压力等;发生炉煤气还应了解煤气的水分、焦油的含量。

(3) 工业炉的生产班次、年产量或折成小时产量,包括最大产量、最小产量及平均产量,这一项根据车间或工厂的生产要求而定。

(4) 被加热物料的品种、形状、数量和规格,要考虑到被加热物料的原始尺