

化工设备设计全书

钢架设计

化工设备设计全书编辑委员会

上海科学技术出版社

化工设备设计全书

钢架设计

主 编

国家医药管理局上海医药设计院 居文明

编 写

国家医药管理局上海医药设计院 徐惠清 王松年 杨俊安
同 济 大 学 石慧珍 张志良

江苏工业学院图书馆
藏书章

上海科学技术出版社

化工设备设计全书

钢架设计

国家医药管理局上海医药设计院 居文明 主编

上海科学技术出版社出版、发行

(上海瑞金二路450号)

江苏如东县印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 20.5 字数 479,000

1989年9月第1版 1989年9月第1次印刷

印数: 1-4,900

ISBN7-5323-1707-2/TQ·38

定价: 20.00元

内 容 提 要

本分册重点介绍化工设备常用钢架的设计计算,材料选择,钢架构造设计,钢架受力分析及其抗震、防腐、防火等方面的有关内容,并列举部分计算实例。

本分册可供从事化工设备、工艺及安装设计的技术人员参考使用,也可供制造厂和安装施工单位的技术人员及高等院校有关专业的师生参考。

化工设备设计全书

分册名称	主要内容
化工设备用钢	钢的冶炼; 常温机械性能和断裂韧性; 热处理和可焊性; 中、高温机械性能和组织稳定性; 腐蚀及耐蚀性; 碳钢和低合金高强度钢; 低温用钢; 低合金耐热钢; 不锈钢及耐热高合金钢。
化工容器设计	旋转薄壳与平板的基本理论及应用; 筒体和封头; 特殊形状容器; 局部应力; 开孔补强; 法兰、支座、防爆膜设计; 容器附件; 容器焊接、制造及检验; 容器保温结构。
高压容器设计	力学基础; 断裂力学在压力容器上的应用; 厚壁容器; 蠕变; 密封设计; 高压容器零部件设计; 高压容器的开孔与衬里; 高压容器的用材、破坏与检验。
超高压容器设计	超高压容器的筒体结构型式; 应力分析及强度计算; 自增强技术及其应用; 疲劳及其设计计算; 零部件设计; 超高压容器的用材、检验和安全技术。
真空设备设计	真空技术的理论基础; 真空获得设备; 真空测量与检漏; 真空容器及化工设备设计; 真空密封; 真空系统设计及附件。
换热器设计	流体流动及传热; 管壳式换热器的结构设计; 管壳式换热器元件强度和刚度计算; 螺旋板式、板式及其它换热器; 管壳式换热器的制造、检验、安装及维修。
塔设备设计	塔设备的化工设计; 塔盘形式及其化工计算; 塔盘结构设计; 填料塔、萃取塔设计; 受压元件的强度设计和稳定校核; 辅助装置及附件; 制造、安装及运输。
搅拌设备设计	搅拌过程与搅拌器; 搅拌设备的传热; 搅拌罐结构设计; 传动装置及搅拌轴; 轴封; 制造及检验。
球形容器设计	材料选用; 结构设计; 强度计算; 组装; 焊接; 检验。
大型贮罐设计	贮罐尺寸的选择; 化工贮罐的设计; 罐壁、罐底、罐顶设计; 低压贮罐设计; 贮罐附件及其选择; 消防及安全措施; 制造、焊接与检验; 贮罐对基础的要求; 贮罐搅拌器。
废热锅炉设计	结构设计; 热力计算; 阻力计算; 元件强度计算; 材料; 制造、安装与检验; 水处理; 运行。
干燥设备设计	干燥过程基础; 厢式、带式、流化床、气流、喷雾、滚筒、回转圆筒干燥器设计; 新型干燥器; 组合式干燥器及其设计; 主要辅助设备设计。
除尘设备设计	粉尘的特性与除尘器的性能; 重力沉降室和惯性除尘器; 旋风、过滤式除尘器; 电除尘器; 湿式除尘器; 除尘系统设计; 含尘气流的测定。
铝制化工设备设计	材料; 设计计算; 结构; 制造与检验。
钛制化工设备设计	钛材的机械性能、物理性能和耐蚀性; 钛制设备的设计计算; 设备结构设计; 制造和检验。
硬聚氯乙烯塑料制化工设备设计	硬聚氯乙烯原材料及其性能; 设备设计与结构; 接管设计; 施工、安装与验收。
石墨制化工设备设计	不透性石墨材料及制造工艺; 不透性石墨制品设备及设计计算; 设备制造; 原材料分析及物性测定。
钢架设计	钢架材料及载荷; 设计原理; 梁、柱的设计; 构收连接构造及计算; 设备支架; 操作平台; 塔平台; 动载荷作用下的钢架设计; 抗震设计; 防腐及防火。

《化工设备设计全书》编辑委员会

主任委员

洪国宝 燕山石油化学总公司设计院

副主任委员

黄力行 南京化学工业公司
李肇璠 化学工业部第六设计院
姚北权 化学工业部第四设计院
琚定一 华东化工学院
寿振纲 国家医药管理局上海医药设计院
金国森 化学工业部设备设计技术中心站

委员

张冠亚 兰州石油化工设计院
杨慧莹 化学工业部第八设计院
汪子云 化学工业部化工设计公司
卓克涛 化学工业部第一设计院
苏树明 广东省石油化工设计院

前 言

鉴于广大化工设备设计人员的要求,在化学工业部的领导下,由化学工业部设备设计技术中心站组织全国近百个高校、工厂、科研和设计单位,共同编写了这部《化工设备设计全书》,供从事化工设备专业的设计人员使用。

《化工设备设计全书》以结构、强度的设计计算为主,从基础理论、设计方法、结构分析、标准规定、计算实例等方面进行了系统的阐述,并对化工原理的设计计算作了简介。在实用的前提下,尽量反映国内及国外引进的先进技术,并努力吸取当前国外新技术动向。总之,本书旨在继续搞好设备结构、强度设计的同时,结合化工过程的要求去研究改进设备的设计,提高设备的生产效率,降低设备的制造成本,与化工工艺专业人员一起实现化工单元操作的最佳化。

本分册以新的国家有关规范、规定的送审本为设计依据,采用我国法定计量单位。

本分册共分十一章:前五章为理论部分,第一、二章是材料、载荷及设计原理;三、四章是梁、柱的设计计算;第五章是构件连接构造及计算;第六至第八章是实用的构造部分,分别为设备支架、操作平台及塔平台的详细介绍;第九、十章是承受动载荷和地震载荷的钢架设计及构造;第十一章是防腐及防火。有关钢架的制作施工技术要求和验收规定,详见国家的有关规范、规定,本书对此不再赘述。

本分册由国家医药管理局上海医药设计院居文明主编。其中第一、二、八、九章由居文明编写;第三、四、五章由徐惠清编写;第六、七章由王松年编写;第十、十一章由杨俊安编写。本书完稿后,国家有关的新规范即将推行。为了符合新规范的要求,特邀请同济大学石慧珍同志和张志良同志对本分册进行了修改、编写。最后由寿振纲同志校审。

由于化工生产发展迅速,我们掌握情况有限,本分册的内容还会有不足和错误之处,热忱希望广大读者提出宝贵意见,以便再版时补充改正。

在本分册编写和校审的过程中,得到了很多单位和同志的大力协助和指导,在此致以深切的谢意。

《化工设备设计全书》编辑委员会

1988年

概 论

化学工业的生产车间大多使用由许多不同类型的容器设备及机械设备,按照一定的工艺流程要求相互衔接构成的生产线,这样就必然要求这些化工设备有不同的高低位差,即需要设计一定形式的设备支架予以支承,从而达到一定的标高。另外,为了便于工人操作和对设备进行维修保养,也需要设计一定形式的操作平台之类的钢架。化工设备支架,操作平台等所采用的材料有混凝土、砖石、木材和钢材等。而化工厂中的设备支架,操作平台则是以钢材为主。随着工业现代化的发展,设备钢架将更广泛地被应用于化学工业中。

化工厂中的钢架所采用的材料有:钢板、角钢、槽钢、工字钢、钢管和圆轴等热轧型钢。钢制结构同其他各种材料的结构相比具有以下几个特点:

1. 钢材的强度高,塑性和冲击韧性好

钢材和其他材料(混凝土、砖石、木材等)有较高的强度,当承受同一载荷时,钢构件的截面要小得多,故它适用于大跨度或大载荷的结构;由于钢材塑性好,在意外的超载作用下不会发生突然断裂,有一定抢修时间,避免发生事故;钢材冲击韧性好,最适合用于制造产生动力载荷的设备支架。

2. 钢材是理想的弹塑性材料

钢材的内部组织最接近于多向同性系统,质地比较均匀,有较大的弹性模量,可认为是较理想的弹塑性材料。因此,经计算所制成的钢架结构与也经计算所制成的其他材料的同样结构相比,可靠性更高。

3. 钢架结构便于施工

虽然钢的比重比其他材料大,但当承受同样大小的载荷时,所需的截面积却要小得多,总的来讲还是轻的,这就便于运输和安装。钢架所选用的材料主要是多类型钢,它的连接方法简单可靠。可以由制造厂制作,现场拼装,也可以现场就地制作、安装,灵活性较大,故与其他材料的结构相比,不但施工周期短,而且构造的精确度也较高。

4. 钢材耐腐蚀及耐火性能差

钢材耐腐蚀性能较差,经常性的维修费用较大,不过钢架经防腐处理并加以定期维护,一般的腐蚀并不会产生严重问题(详见第十一章)。普通钢材不耐高温,当温度上升至 150°C 以上时,其强度将骤然下降。因此,对某些有特殊防火要求的钢架,必须考虑采用较好的耐火材料加以保护。

设计设备钢架及钢操作平台,应满足下列基本要求:

1. 满足工艺要求,便于操作和设备维修。

2. 结构必须安全可靠,并有良好的耐腐蚀措施。

3. 尽可能地节约钢材,要求钢材的塑性性能充分利用,要合理布置梁格及合理选用构件截面和构件连接方法。

4. 便于制作和安装,缩短施工周期。

5. 在满足实用、经济的前提下,尽可能地照顾美观。

随着我国钢产量和质量的不断提高,钢结构的应用也会相应地有很大发展,但钢结构的设计还有待进一步提高。主要有以下几个方面:

1. 高强度钢材的应用

选用高强度钢材,可以大量节省钢材。目前,设备钢架用的高强度钢材一般是 16 锰低合金钢。在其他钢构筑物上已开始应用 15 锰钒、15 锰钛以及 15 锰钒氮等低合金钢。今后还将出现性能更好的新钢种。

2. 理论计算工作上的探讨

计算方法愈能反映实际,就愈能合理地使用材料,如钢材塑性的充分利用,动力载荷(包括地震力等)的影响,残余应力的计算,薄壁屈曲的承载能力以及结构安全度等问题都需要进一步作大量的试验探索和理论上的研究。

3. 钢结构防腐等的研究

近年来我国对化工厂中的钢架防腐蚀问题已开始重视,并在研究工作方面取得了较大的成果,已生产出防腐蚀性能好,价格便宜的涂料。但对设备钢架、操作平台如何适应化工车间的防火、防爆等条件,其构造及保护措施等都有待进一步研究和总结。

目 录

第一章 钢架材料及载荷	1
第一节 钢材基本知识	1
一、钢材的化学成分	1
二、钢材的冶炼和成型加工	1
三、钢材的主要性能	2
第二节 我国钢材的编号	4
第三节 钢材的选择	5
第四节 连接材料	21
第五节 载荷	21
一、载荷分类	21
二、动载荷	21
三、风载荷	22
第二章 钢架设计原理	29
第一节 钢架设计的主要内容	29
第二节 结构计算原理	29
第三章 梁设计	34
第一节 梁的分类	34
一、按截面分类	34
二、按支座分类	34
三、按梁承受的载荷分类	34
第二节 梁的内力计算	35
一、简支梁和悬臂梁内力计算	35
二、连续梁的内力计算	39
三、简支梁和悬臂梁承受多个载荷时的挠度计算	41
第三节 梁的设计要点	43
一、强度计算	43
二、梁的整体稳定	47
三、梁的局部稳定	50
四、刚度计算	52
第四节 双向弯曲梁的计算	58
一、强度计算	58
二、整体稳定验算	58
三、挠度计算	58
第五节 梁的受扭计算	59
一、纯扭转和约束扭转	59
二、梁的约束扭转	59

三、约束扭转梁的正应力和剪应力计算	61
第六节 梁截面的合理选择	67
一、选择合理的截面形状	67
二、变截面梁	67
三、合理布置载荷作用点的位置	68
四、合理布置梁格	68
五、桁架式结构	69
例题 3-1	70
例题 3-2	71
例题 3-3	71
第四章 柱的设计	74
第一节 柱的分类	74
第二节 轴心受压实腹柱	74
一、概述	74
二、强度计算	75
三、稳定计算	75
四、截面设计	84
第三节 偏心受压实腹柱	88
一、概述	88
二、强度计算	88
三、稳定计算	89
四、局部稳定	91
第四节 格构式柱	92
一、轴心受压格构式柱	92
二、偏心受压格构式柱	101
三、变截面格构式柱	102
例题 4-1	103
例题 4-2	104
例题 4-3	104
第五章 构件连接构造及计算	108
第一节 连接的合理设计	108
一、设计的连接结点	108
二、连接的构造与施工	108
三、连接构造的要求	108
第二节 梁格布置	109
一、简单梁格	109
二、普通式梁格	109
第三节 铺板	110
一、有横向力的弯曲	110
二、无横向力的弯曲	111
第四节 梁的连接构造及计算	112
一、梁的连接要求	112

二、梁与梁的连接	113
三、梁的拼接	115
四、梁的支座	117
五、工程中梁与支座的几种连接方式	118
第五节 柱的连接构造	122
一、梁与柱的连接	122
二、柱与柱的连接	123
第六节 柱脚构造及计算	123
一、柱脚构造	123
二、轴心受压柱脚计算	124
三、偏心受压柱脚计算	126
第七节 连接计算	130
一、焊接与螺栓连接	130
二、焊接计算	136
三、螺栓连接计算	143
例题 5-1	146
例题 5-2	147
第六章 设备支架	149
第一节 柱脚式设备支架	149
一、固定式管柱脚	150
二、固定式型钢柱脚	151
三、板式柱脚	152
四、活络式管柱脚	153
第二节 悬臂架	153
一、墙式悬臂架	154
二、柱式悬臂架	155
第三节 吊架	157
一、吊架的构造	157
二、吊架的计算	160
第四节 自承式设备支架	160
一、自承式设备支架的计算	160
二、自承式设备支架的构造	163
第五节 混合式设备支架	168
一、混合式设备支架的构造	168
二、混合式设备支架的计算	170
第六节 其他类型的设备支架	171
例题 6-1	173
例题 6-2	176
例题 6-3	176
例题 6-4	178
第七章 操作平台	183
第一节 操作平台的类型	183

一、完全借助构筑物(柱或墙)作为支撑的操作平台	184
二、部分借助构筑物(柱或墙)作为支撑的操作平台	184
三、直接支撑于设备上的操作平台	185
四、自立柱脚的操作平台	187
第二节 钢平台的计算	189
一、钢平台构件计算的基本原则	189
二、钢平台构件的计算	190
第三节 钢平台的构造	196
一、钢平台的合理布局	196
二、钢平台柱脚固定方式	197
三、钢平台的安全措施	198
第四节 钢平台的附件	198
一、栏杆	198
二、钢梯	199
三、常用地脚板	209
第五节 活动操作平台	211
第六节 钢栈桥	213
例题 7-1	216
第八章 塔平台	221
第一节 塔平台分类	221
一、塔体平台	221
二、梁式塔平台	221
三、构架式塔平台	222
第二节 塔体平台	222
一、塔体平台的分类	222
二、塔体平台的构造	223
三、塔体平台的常用构件	226
四、塔体平台的支撑及梁格布置	228
第三节 梁式塔平台	229
一、梁式塔平台的分类	229
二、梁式塔平台的构造	230
三、梁式塔平台的常用构件	231
四、梁式塔平台的梁格布置	233
第四节 构架式塔平台	233
一、桁架式塔平台	234
二、利用建筑物的桁架式塔平台	237
第五节 塔平台的计算及安装	237
一、塔平台的计算	237
二、塔平台的安装	239
第六节 钢牛腿(加强板)及筒体局部应力计算	241
一、钢牛腿计算	241
二、钢牛腿处筒体局部应力(加强板)验算	242

第九章 动载荷作用下的钢架设计	245
第一节 概述	245
一、动载荷	245
二、材料的动力性质	245
三、动载荷作用下的结构物反应	246
第二节 不平衡惯性力	246
一、机器不平衡惯性力的产生原因	247
二、机器的扰力计算	247
三、动载荷传给构造物的特性	249
四、机器分类	251
第三节 钢架的自由振动	252
一、梁的自由振动	252
二、梁的自振频率计算	254
三、钢架往复振动的自振频率计算	259
第四节 钢架的强迫振动	261
一、强迫振动	261
二、有阻尼的弹性体系的振动	263
三、共振	265
四、动载荷作用下梁的动位移及其弯矩的计算	266
五、动载荷作用下钢架水平动位移计算	273
第五节 钢架在动载荷作用下的承载能力计算及其构造	275
一、动位移的验算	275
二、承载能力的验算	276
三、动载荷作用下的钢平台构造	279
四、动载荷作用下的钢架计算程序	280
例题 9-1	280
例题 9-2	281
例题 9-3	282
第十章 钢架抗震设计	287
第一节 地震及烈度	287
一、地震基本概念	287
二、烈度	287
三、钢架的抗震目的和要求	288
第二节 钢架的地震力	289
一、单自由度体系的地震力计算	289
二、多自由度体系的地震力计算	292
三、常用钢架的刚度计算	293
四、钢架扭转计算	298
第三节 抗震钢架设计	300
例题 10-1	300
例题 10-2	301
例题 10-3	303

第十一章 钢架的防腐与防火.....	304
第一节 钢架的腐蚀特性.....	304
第二节 耐腐蚀涂料.....	304
一、钢架结构的表面处理	304
二、底漆	305
三、面漆	305
第三节 构件的合理截面及其构造.....	308
一、构件的合理截面	308
二、构件的合理构造	308
第四节 钢架在火灾中的特性.....	309
一、钢材的耐火性	309
二、钢架构件的耐火极限	310
第五节 钢架的防火构造.....	311
一、操作平台的安全设施	311
二、防爆厂房内的钢架	311
三、钢柱的防火结构	311

第一章

钢架材料及载荷

第一节 钢材基本知识

设备钢架常用的钢材有普通低合金钢和普通碳素钢两种。

作为设备钢架(以下简称钢架)的钢材需具有下列特点:较高的抗拉强度 σ_b 和屈服强度 σ_s ;较好的塑性、韧性及耐疲劳性能;有良好的冷、热加工性能和可焊工艺性能。而这些性能同钢材的化学组成及钢材的冶炼、成型加工等因素有着直接关系。

一、钢材的化学成分

普通碳素钢是由纯铁、碳及微量元素组成的(见表 1-1)。其中纯铁约占 99%,碳及微量元素仅占约 1%。低合金钢中,除了上述元素外,还含有合金元素,含量通常低于 5%。碳和其他元素虽含量不高,但对钢材的机械性能却起着决定性的作用。

碳:随着含碳量的提高,钢的强度逐渐提高,而它的塑性、冲击韧性却下降了,冷弯性能、可焊性能和抗腐蚀性能等也都变劣。所以,碳在低碳钢钢材中的含量一般不允许超过 0.22%。

硫:硫对钢材的机械性能起着极其有害的作用。它能使钢材产生热脆性,降低钢材的冲击韧性、疲劳强度和抗腐蚀性能。所以对它的含量应加以严格控制,一般不允许超过 0.050%。

磷:磷可提高钢材的强度和抗腐蚀能力,但会使钢材的冷脆性增加,冷弯性能、焊接性能、塑性、冲击韧性也有所降低。所以磷的含量同样要严加控制,一般不允许超过 0.045%。

锰:锰可提高钢材的强度,消除硫对钢的热脆影响,在一定程度上消除钢的冷脆现象,但其含量过高时,钢材的焊接性能要变劣。一般它的含量不允许超过 0.8%。

硅:加入少量的硅可以使钢材的强度提高,而此时钢材的塑性,冲击韧性并无显著下降,钢材的冷弯性能及可焊性能也无显著变劣。一般镇静钢中的含硅量为 0.12~0.30%。

铜:铜可以显著地提高钢材的抗腐蚀性能,也可提高钢材的强度,但对可焊性能有不利的影响。

上述的主要化学元素对普通碳素钢及普通低合金钢的机械性能的影响见表 1-2。

二、钢材的冶炼和成型加工

(一) 钢材的冶炼方法

常用的炼钢炉有三种形式:转炉、平炉、电炉。根据各种炉子的炉衬材料的不同,用酸性材料(如硅砂)或碱性材料(如镁砂和白云石)的上述炉种,分别称为酸性转炉、酸性平炉、酸性电炉或碱性转炉、碱性平炉、碱性电炉。

空气低吹转炉生产的钢质量甚差,国内已不生产。空气侧吹转炉钢的各项性能不如氧

气顶吹转炉钢,近年来产量已不多,且多系钢筋。平炉钢、电炉钢的成本较高,故应在满足使用条件及加工工艺的情况下,尽可能采用顶吹氧气转炉钢。

(二) 钢的分类

钢按脱氧程度的不同,分为镇静钢、半镇静钢、沸腾钢。脱氧程度取决于脱氧剂的数量和种类。一般的脱氧剂有锰、硅、钛、铝等,硅较常用。仅用脱氧能力甚强的锰(Mn)进行脱氧,由于未能充分脱氧,氧、氮和一氧化碳等气体从钢中逸出,形成钢的沸腾现象,称为沸腾钢。镇静钢用锰和适量的硅作脱氧剂,脱氧充分,浇注时钢锭模内液面平静。半镇静钢介于沸腾钢和镇静钢之间。

镇静钢的屈服强度比沸腾钢高,并具有较高的强度极限和常温冲击韧性、较小的冷脆性及时效敏感性、较好的焊接性能及抗大气腐蚀性等。但它的成本也较沸腾钢高,钢材的表面质量也不如沸腾钢。

表 1-1 钢材的化学成分

钢 号		熔 炼 化 学 成 分 (%)					
		C	Si	Mn	P	S	V
					≤		
3 号钢	沸腾钢	0.14~0.22	≤0.07	0.30~0.60	0.045	0.050	—
	镇静钢		0.12~0.30	0.35~0.65			
16Mn 钢		0.12~0.20	0.20~0.60	1.20~1.60	0.045	0.050	—
15MnV 钢		0.12~0.18	0.20~0.60	1.20~1.60	0.045	0.050	0.04~0.12
16Mnq 钢		0.12~0.20	0.20~0.60	1.20~1.60	0.040	0.045	—
15MnVq 钢		0.10~0.18	0.20~0.60	1.20~1.60	0.040	0.045	0.04~0.12

(三) 钢的成型加工

成型加工(热轧钢)不仅改变了钢锭的形状和尺寸,而且显著地改变钢的显微组织和性能。因为型钢的轧制是在 1150~1300℃ 高温和一定的压力作用下进行的,钢锭中原有的小气泡、裂纹,疏松等缺陷在此过程中减小或消除,所以轧制钢要比铸钢具有更好的机械性能,强度较高,塑性及冲击韧性也较好。

三、钢材的主要性能

钢材是较理想的弹塑性材料,图 1-1 为钢材一次拉伸应力-应变曲线图。由图可见,钢材在屈服点 f_y 之前是完全弹性的,屈服点之后,材料进入塑性流动状态,塑性流动终止,材料即开始进入硬化过程,应力-应变呈曲线过程,直至曲线达到最高点,此时的 f_b 被认为是最大承载能力。

塑性流动范围和弹塑性范围中的应变都包括弹性应变和塑性应变两部分,前者在卸荷后即可消失,后者则成为残余应变而保留下来(由于比例

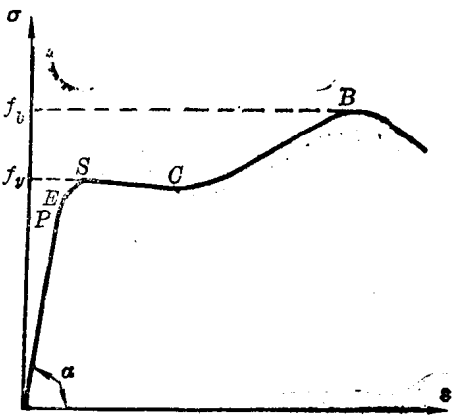


图 1-1 钢材的应力-应变曲线