

ICS 91.080

P 72

备案号: J1511-2013

SH

中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3077—2012

代替 SH 3077—96

石油化工钢结构冷换框架设计规范

**Design specification for steel frames supporting coolers and
exchangers in petrochemical industry**



2012-11-07 发布

2013-03-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 主要符号	1
4.1 作用和作用效应	1
4.2 计算指标	2
4.3 几何参数	2
4.4 计算系数及其他	2
5 基本规定	2
5.1 结构形式及一般要求	2
5.2 节点连接	3
5.3 材料	5
6 荷载和地震作用	5
6.1 荷载分类	5
6.2 平台活荷载	5
6.3 空冷器风机和电机的当量荷载	5
6.4 风荷载	6
6.5 地震作用	7
7 结构设计	7
7.1 一般规定	7
7.2 抗震设计	8
7.3 荷载和地震作用效应组合	9
7.4 构件的承载能力极限状态计算	10
7.5 卧式设备支座与梁的连接	11
7.6 柱脚	11
8 地基基础	15
附录 A (资料性附录) 框架风荷载近似计算	17
本规范用词说明	20
附: 条文说明	21

Contents

Foreword	III
1 Scope	1
2 Normative references	1
3 Terms and definitions	1
4 Major symbols	1
4.1 Loads and load effects	1
4.2 Material properties	2
4.3 Geometry properties	2
4.4 Calculation factors and other coefficients	2
5 Basic requirements	2
5.1 Structural system and general requirements	2
5.2 Connections	3
5.3 Materials	5
6 Loads and seismic action	5
6.1 Load types	5
6.2 Live loads on platforms	5
6.3 Equivalent forces from coolers	5
6.4 Wind loads	6
6.5 Seismic action	7
7 Structural design	7
7.1 General requirements	7
7.2 Seismic design	8
7.3 Load and seismic effects combinations	9
7.4 Strength requirements for structural members	10
7.5 Connections between equipment stools and support beams	11
7.6 Column base plates	11
8 Subgrade and foundations	15
Appendix A (Informative) Approximate computation of wind loads on frames	17
Explanation of wording in this specification	20
Add: Explanation of articles	21

前 言

根据国家发展和改革委员会办公厅《2008年行业标准项目计划》(发改办工业[2008]1242号)的要求,规范编制组广泛调查研究,认真总结实践经验,参考有关国际标准和国外先进标准,在广泛征求意见的基础上,修订本规范。

本规范共分8章和1个附录。

本规范的主要技术内容是:钢结构冷换框架设计的基本规定、荷载和地震作用、结构设计、地基基础。

本规范是在SH 3077—96《石油化工企业钢结构冷换框架设计规范》的基础上修订而成,修订的主要技术内容是:

- 完善钢结构冷换框架构造要求,特别是抗震构造要求,明确水平支撑设置要求;
- 增加了梁、柱接长要求;增加了焊缝质量等级要求;
- 完善了风荷载计算;
- 取消梁-梁、梁-柱节点计算和构造要求,完善了地脚螺栓计算和构造;
- 根据现行国家规范和原规范在执行过程中各有关单位反馈的意见,对原规范进行了全面修订和补充。

本规范由中国石油化工集团公司负责管理,由中国石油化工集团公司建筑设计技术中心站负责日常管理,由中国石化工程建设有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议,请寄送日常管理单位和主编单位。

本规范日常管理单位:中国石油化工集团公司建筑设计技术中心站

通讯地址:河南省洛阳市中州西路27号

邮政编码:471003

电 话:0379-64887187

传 真:0379-64887187

本规范主编单位:中国石化工程建设有限公司

通讯地址:北京市朝阳区安慧北里安园21号

邮政编码:100101

本规范主要起草人员:刘洪坤 陈瑞金 陈传金 黄左坚 徐 慎

本规范主要审查人员:何国富 邱正华 嵇转平 聂向东 王松生 李立昌 唐 健 汪宁扬
黄月年 朱 毅 李云忠 任 意 许兰生 刘德文 熊 英 张旭卉

本规范于1996年首次发布,本次为第1次修订。

石油化工钢结构冷换框架设计规范

1 范围

本规范规定了石油化工钢结构冷换框架的结构设计的基本规定、荷载和地震作用、结构设计、地基基础等。

本规范适用于支承冷却器、换热器（以下简称冷换设备）、卧式容器以及其顶层设有空气冷却器（以下简称空冷器）的钢框架设计。本规范不适用于管廊顶上带有空冷器的钢框架设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

- GB/T 5117 碳钢焊条
- GB/T 5118 低合金钢焊条
- GB/T 5313 厚度方向性能钢板
- GB 50009 建筑结构荷载规范
- GB 50010 混凝土结构设计规范
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50017 钢结构设计规范
- GB 50160 石油化工企业设计防火规范
- SH 3137 石油化工钢结构防火保护技术规范
- SH/T 3147 石油化工构筑物抗震设计规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本规范。

3.1

冷换框架 coolers and exchangers frames

用于支承冷却器、换热器、卧式容器以及其顶层设有空气冷却器的钢框架。

3.2

设备梁 beams supporting equipment

直接或间接支承设备的钢梁。

4 主要符号

下列主要符号适用于本规范。

4.1 作用和作用效应

F_{dk} ——空冷器风机和电机的水平向当量荷载标准值；

F_{vk} ——每台风机和电机的竖向当量荷载标准值；

N ——轴向力设计值；

Q ——柱脚底板处水平力设计值；

- R —— 结构构件抗力的设计值；
 S —— 结构构件荷载效应组合的设计值（包括组合的弯矩、轴向力和剪力的设计值）；
 S_{Gk} —— 永久荷载标准值的效应；
 S_{Wk} —— 风荷载标准值的效应；
 S_{Ehk} —— 水平地震作用标准值的效应；
 S_{GE} —— 重力荷载代表值的效应；
 W_K —— 框架上的风荷载标准值；
 σ_c —— 柱基础顶面承受的轴心压应力设计值。

4.2 计算指标

- f —— 钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；
 f_{cc} —— 混凝土的轴心抗压强度设计值。

4.3 几何参数

- B —— 柱脚底板的宽度；
 L —— 柱脚底板的长度；
 t_w —— 腹板的厚度；
 t_{wb} —— 梁腹板的厚度；
 t_{wc} —— 柱腹板的厚度。

4.4 计算系数及其他

- K_{hd} —— 空冷器水平向动力系数；
 K_v —— 空冷器竖向动力系数；
 β_z —— Z 高度处的风振系数；
 γ_0 —— 结构构件的重要性系数；
 γ_{RE} —— 承载力抗震调整系数；
 γ_{Eh} —— 水平地震作用分项系数；
 γ_{GE} —— 重力荷载分项系数；
 γ_G —— 永久荷载分项系数；
 γ_Q —— 可变荷载分项系数；
 γ_W —— 风荷载分项系数；
 μ_z —— 高度 Z 处的风压高度变化系数；
 μ_s —— 框架的风荷载体型系数。

5 基本规定

5.1 结构形式及一般要求

- 5.1.1 冷换框架的结构布置应体型简单，质量和刚度对称均匀，各层抗侧力刚度中心与质心重合；避免平面和立面突变和形状不规则；对于刚度突变的楼层，应采取可靠的过渡加强措施。
- 5.1.2 冷换框架可采用框架-支撑结构、框架结构或其他结构类型。在满足生产操作条件下，优先采用框架-支撑结构。
- 5.1.3 冷换框架的柱网、层高、平台的梁板和斜撑布置及平台开洞等，除应满足工艺的要求外，尚宜满足管道、设备的安装、生产和检修要求。
- 5.1.4 框架-支撑结构框架宜在两个方向分别布置支撑。支撑宜采用交叉支撑、人字形或 V 形支撑。地震区框架不宜全部设置单方向受拉支撑，拉撑承担的水平力不应大于总侧力的 75%。当钢框架只能采用单方向受拉撑时，应同时设置不同倾斜方向的两组斜杆，且每组中不同方向单斜杆的截面面积在

水平方向的投影面积之差不得大于10%。支撑斜杆宜采用双轴对称截面。设防烈度为8度、9度时，中心支撑不得采用拉杆设计。

5.1.5 平台水平支撑设置应符合下列要求：

- a) 平台上有设备、管道挡墩、支吊点等水平荷载作用时（例如框架平台上设置有空冷器的风机或电机基座时），该层应设置可靠的水平支撑系统；
- b) 当冷换框架各榀框架侧向刚度相差较大、竖向支撑布置又不规则时，宜在顶层、中间层设置水平支撑；
- c) 平台铺板采用钢格栅板时，应在顶层并至少每隔一层设置水平支撑。

5.1.6 结构布置应根据设备布置的要求采用横向承重框架结构；当采用纵向承重框架结构时，应采取的措施（例如将框架横向布置成框架-支撑体系或在适当的位置加设支撑等）加强横向刚度。框架应确保非承重方向结构的整体刚度。

5.1.7 框架的跨度和间距应用定位轴线标注；平面定位轴线应与柱的截面几何中心重合；上、下层柱截面的几何中心宜在同一垂直线上；框架横梁及柱间纵梁的轴线宜与柱中心线相重合。

5.1.8 平台铺板可采用钢格栅板或花纹钢板。

5.1.9 梯子的设置，应根据生产操作和防火的要求确定。

5.1.10 框架各层平台四周和平台内无设备（或管道）孔洞周边均应设置钢栏杆。当平台高度小于20m时，其栏杆高度应为1.05m；当平台高度等于或大于20m时，其栏杆高度应为1.20m。

5.1.11 框架的防腐蚀设计应符合 GB 50046 的有关要求。

5.1.12 框架的防火应符合 GB 50160 和 SH/T 3137 的有关要求。

5.2 节点连接

5.2.1 钢结构节点连接，可采用焊缝连接、高强度螺栓连接或部分焊接、部分高强度螺栓连接等方式；连接板应采用与构件强度相同等级的钢材。

5.2.2 焊缝连接，应符合下列规定：

- a) 焊条宜与构件强度等级相适应；当焊缝连接两种不同强度的钢材时，可采用与低强度钢材相适应的焊条；
- b) 焊缝布置宜对称于杆件或构件截面重心并使焊缝截面的重心与杆件或构件截面重心相重合；
- c) 承受动力荷载的结构，垂直于受力方向的焊缝应采用全焊透的对接焊缝；
- d) 角焊缝的焊脚尺寸 h_f (mm) 不应小于 $1.5\sqrt{t}$ (t 为较厚焊件厚度 mm)，且不宜大于较薄焊件厚度的 1.2 倍，对圆孔或槽孔内的角焊缝的焊脚尺寸不宜大于圆孔直径或槽宽度的 $1/3$ ；当焊件厚度等于或小于 4mm 时，则最小焊脚尺寸应与焊件厚度相同；
- e) 侧面或正面角焊缝的计算长度不得小于 $8h_f$ 和 40mm；侧面角焊缝的计算长度不宜大于 $60h_f$ 。当大于上述数值时，其超过部分在计算中不予考虑，若内力沿侧面角焊缝全长分布时，其计算长度不受上述限制；
- f) 次要构件或次要焊缝连接，可采用断续角焊缝，断续角焊缝间的净距，对受压构件不应大于 $15t$ ，对受拉构件不应大于 $30t$ (t 为较薄焊件的厚度)；
- g) 当板件的端部仅有两侧面角焊缝连接时，每条侧面角焊缝长度不宜小于两侧面角焊缝之间的距离，同时两侧面焊缝之间的距离不宜大于 $16t$ (当 $t > 12\text{mm}$) 或 190mm (当 $t \leq 12\text{mm}$)，(t 为较薄焊件的厚度)；
- h) 杆件与节点板的连接焊缝，宜采用两面侧焊或三面围焊，对角钢杆件也可采用 L 形围焊，所有围焊的转角处应连续施焊，详见图 5.2.2；
- i) 在搭接连接中，搭接长度不应小于焊件较小厚度的 5 倍，且不得小于 25mm。
- j) 对接焊缝与母材等强时，应采用加引弧板和引出板的焊透对接焊缝。

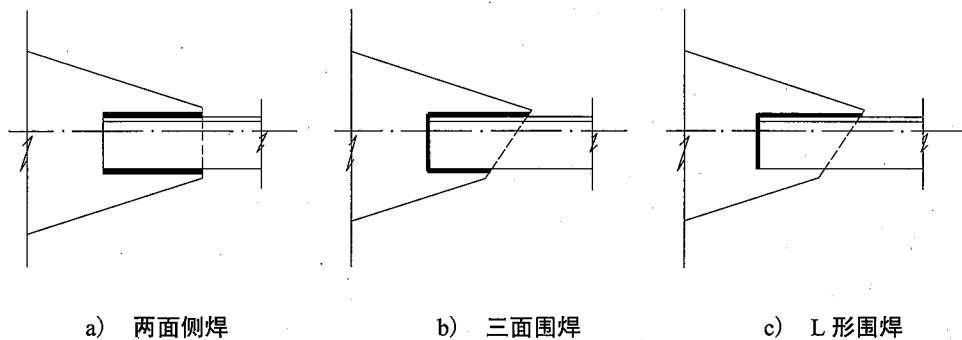


图 5.2.2 杆件与节点板的焊缝连接

5.2.3 高强度螺栓连接，应符合下列规定：

- a) 高强度螺栓的布置，宜采用并列和错列的布置形式。螺栓行列之间及螺栓与构件边缘的距离，应符合表 5.2.3 的要求；

表 5.2.3 高强度螺栓的最大、最小允许距离

名称	位置和方向		最大允许距离 (取两者的较小者)	最小允许 距离
中心间距	任意方向	外排	$8d_0$ 或 $12t$	$3d_0$
		中间排	构件受压力 $12d_0$ 或 $18t$ 构件受拉力 $16d_0$ 或 $24t$	
中心至构件边缘距离	顺内力方向		$4d_0$ 或 $8t$	$2d_0$
	垂直内力方向	切割边		$1.5d_0$
		轧制边		
注 1: d_0 为螺栓孔径, t 为外层较薄板件的厚度。 注 2: 钢板边缘与刚性构件 (如角钢、槽钢等) 相连的螺栓最大间距, 可按中间排的数值采用。				

- b) 在同一个连接节点中，应采用同一直径和同一性能等级的高强度螺栓；
c) 每一杆件在节点上或拼接连接的一侧，螺栓数目不应少于两个；
d) 高强度螺栓孔应采用钻成孔，摩擦型高强度螺栓的孔径比螺栓公称直径大 1.5mm~2.0mm；承压型高强度螺栓的孔径比螺栓公称直径大 1.0mm~1.5mm；
e) 在 高强度螺栓连接范围内，构件接触面的处理方法，应在施工图中说明。

5.2.4 直接支承重要设备的设备梁不宜拼接接长，其它梁仅允许拼接一次，拼接接头应错开支座、跨中和梁梁节点等应力较大或受力较大处。焊接 H 型钢梁采用焊接接长时，翼缘拼接焊缝与腹板拼接焊缝的间距不应小于 200mm。

5.2.5 柱接头距框架梁上方的距离，可取 1.3m 和柱净高一半二者的较小值。焊接 H 型钢柱焊接接长时，翼缘拼接焊缝与腹板拼接焊缝宜错开，其间距不小于 200mm。同轴线柱不宜在相同标高拼接，宜错开 300mm。

5.2.6 焊缝应根据结构的重要性、荷载特性、焊缝形式、工作环境以及应力状态等情况，按下述原则分别选用不同的质量等级：

- a) 对接焊缝均应焊透；
b) 梁、柱、撑焊接拼接节点的对接焊缝应采用全焊透坡口对接焊缝，质量等级应为一类；梁柱节点中，梁翼缘（或翼缘连接板）与柱翼缘间应采用全焊透坡口对接焊缝，焊缝质量等级应为二类；

c) 连接节点中的角焊缝外观质量等级应为二级；其它角焊缝外观质量等级可为三级。

5.3 材料

5.3.1 钢材及其连接材料，应符合 GB 50017 和 GB 50011 的有关规定。

5.3.2 型钢和钢板宜采用 Q235、Q345 钢，抗震结构和焊接结构不应采用 A 质量等级的钢材。钢材的屈服强度实测值与抗拉强度实测值的比值不应大于 0.85；钢材应有明显的屈服台阶，且伸长率不应小于 20%；钢材应有良好的焊接性和合格的冲击韧性。

5.3.3 手工电弧焊应采用符合 GB/T 5117 或 GB/T 5118 规定的焊条。选用焊条型号时应与构件钢材强度等级相适应，按下列规定采用：

- a) 当构件钢材为 Q235 时，宜采用 E43 型焊条；
- b) 当构件钢材为 Q345 时，宜采用 E50 型焊条；
- c) 当 Q345 和 Q235 两种钢材相焊时，宜采用 E43 型焊条。

5.3.4 高强度螺栓应采用性能等级为 8.8 级和 10.9 级的高强度螺栓。

5.3.5 地脚螺栓不应采用 A 质量等级的钢材，宜采用未经冷拉的 Q235 钢或 Q345 钢。

5.3.6 采用焊接连接的钢结构，当钢板厚不小于 40mm 且承受沿板厚方向拉力时，受拉板件板厚方向截面收缩率不应小于 GB/T 5313 关于 Z15 级规定的容许值。

5.3.7 基础混凝土强度等级不应低于 C25，垫层宜采用 C10。

5.3.8 基础钢筋宜采用 HRB 400、HRB 335 和 HPB 235 钢筋。地震区使用的热轧钢筋应符合抗震性能指标要求。

6 荷载和地震作用

6.1 荷载分类

6.1.1 框架上的荷载可分为永久荷载、可变荷载。

6.1.2 永久荷载应包括结构自重、设备及管道自重、设备及管道保温层重。

6.1.3 可变荷载可包括设备操作介质重，设备充水水重，设备振动荷载，空冷器风机和电机的当量荷载，烟道等管道的支座、弹簧吊、挡墩及裙座的水平和竖向荷载，平台均布活荷载，风荷载。不考虑雪荷载的影响。

6.2 平台活荷载

6.2.1 平台均布活荷载标准值，应按表 6.2.1 采用。

表 6.2.1 平台均布活荷载标准值

单位为 kN/m²

构件名称	标准值
平台板、平台次梁、平台主梁	4.0
设备梁、框架梁、柱、斜撑、基础	2.0
注：空冷框架平台均布活荷载已包括冷换设备头盖检修荷载。	

6.2.2 检修或安装时，由设备、管道及其它工具等产生的局部荷载较大时，可按 GB 50009 的规定采用等效均布活荷载计算整体结构，平台板、平台次梁、平台主梁宜按实际受力情况设计。

6.3 空冷器风机和电机的当量荷载

6.3.1 每台风机和电机的竖向当量荷载标准值，应按下式计算：

$$F_{VK} = K_a G_K \dots\dots\dots (6.3.1)$$

式中：

F_{VK} ——每台风机和电机的竖向当量荷载标准值，kN；

K_a ——竖向动力系数，取 1.5；

G_K ——风机和电机重力荷载标准值，kN。

6.3.2 风机和电机水平向当量荷载标准值，应按下列方法计算：

a) 当空冷器为一台时，其水平向当量荷载标准值应按下列公式计算：

$$F_{dK} = K_{hd} G_K \quad (6.3.2-1)$$

式中：

F_{dK} ——空冷器风机和电机的水平向当量荷载标准值，kN；

K_{hd} ——水平向动力系数，取 0.3；

b) 当空冷器为二台时，其水平向当量荷载标准值应按下列公式计算：

$$F_{dK} = F_{dK1} + F_{dK2} \quad (6.3.2-2)$$

式中：

F_{dK1} 、 F_{dK2} ——各台空冷器风机和电机的水平向当量荷载标准值，kN；

c) 当空冷器多于两台时，其水平向当量荷载标准值除应按下列公式计算外，且不得小于取最大的两台按式 6.3.2-2 的计算值：

$$F_{dK} = \sqrt{F_{dK1}^2 + F_{dK2}^2 + \dots + F_{dKn}^2} \quad (6.3.2-3)$$

式中：

F_{dKn} ——第 n 台空冷器风机和电机的水平向当量荷载标准值，kN。

6.4 风荷载

6.4.1 框架上的风荷载应包括梁、柱、斜撑、栏杆和设备承受的风荷载。计算风荷载时应考虑前后榫框架、前后设备的遮挡。

6.4.2 框架上的风荷载标准值，应按下列公式计算：

$$w_k = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 \quad (6.4.2)$$

式中：

w_k ——框架上的风荷载标准值，kN/m²；

β_z ——高度 Z 处的风振系数，取 1.0；对于高度大于 30m 且高宽比大于 1.5 的框架，可按 GB 50009 有关规定考虑；

μ_s ——框架的风荷载体型系数；按 GB 50009 的有关规定采用；

μ_z ——高度 Z 处的风压高度变化系数；按 GB 50009 的有关规定采用；

w_0 ——基本风压值，kN/m²。

6.4.3 卧式设备风荷载标准值，应按下列公式计算：

$$F_{k1} = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 A \quad (6.4.3)$$

式中：

F_{k1} ——卧式设备风荷载标准值，kN；

μ_s ——卧式设备的风荷载体型系数；沿卧式设备纵向取 1.3；沿单放设备横向取 0.7；沿叠放设备横向取 1.2；

A ——卧式设备及其支座在风荷载作用方向的挡风面积，m²。

6.4.4 应根据设备布置情况计算卧式设备横向风荷载。平台卧式设备均匀布置时，横向总风荷载不宜大于最大一组设备风荷载的 3 倍。

6.4.5 立式设备风荷载标准值，应按下列公式计算：

$$F_{k2} = \beta_z \mu_s \mu_z w_0 D H \quad (6.4.5)$$

式中：

F_{k2} ——立式设备风荷载标准值，kN/m²；

μ_s ——立式设备的风荷载体型系数，取 0.7；

D ——立式设备外径，m；当有保温层时，应包括保温层的厚度；

H ——立式设备高度，m。

6.4.6 栏杆整体体型系数宜取 0.2。

6.4.7 框架每层节点上的风荷载标准值，也可参照附录 A 进行近似计算。

6.4.8 冷换框架设计应考虑设备风荷载产生的弯矩对设备梁及框架的影响。

6.5 地震作用

6.5.1 冷换框架的地震作用，应符合下列规定：

- a) 一般情况下，宜在框架的两个主轴方向分别计算水平地震作用并进行抗震验算，各方向的水平地震作用应由该方向抗侧力构件承担；
- b) 质量和刚度分布明显不对称的结构，应计入双向水平地震作用下的扭转影响；
- c) 冷换框架的抗震计算，宜采用振型分解反应谱法，也可采用底部剪力法。

6.5.2 采用底部剪力法计算时，突出构筑物顶面的小型结构，其地震作用效应宜乘以增大系数 3，但增大部分不应往下传递。

6.5.3 冷换框架设计应考虑设备水平地震产生的弯矩对设备梁及框架的影响。

7 结构设计

7.1 一般规定

7.1.1 冷换框架的结构安全等级为二级。结构设计使用年限为 50 年。

7.1.2 冷换框架结构计算，应符合下列规定：

- a) 框架结构构件，应满足各种荷载状态下的承载力要求；
- b) 对直接承受动力荷载的结构，在计算强度和稳定性时，动力荷载应乘以动力系数；在计算变形时，动力荷载标准值不乘动力系数；
- c) 计算框架梁、柱时，可不考虑平台活荷载不利位置的影响；
- d) 计算框架柱和基础时，可不考虑各层平台活荷载的折减；
- e) 支撑轴线宜交汇于梁柱轴线的交点。当支撑轴线偏离梁柱轴线的交点不超过支撑构件宽度时，内力分析仍可按中心支撑框架进行，但应计入由于偏心产生的附加弯矩；
- f) 框架梁应按受弯和压弯（或拉弯）构件验算梁的强度和稳定。

7.1.3 结构的变形，应符合以下规定：

- a) 多层框架结构在风荷载作用下的顶点水平位移与总高度之比值不宜大于 1/300，层间相对位移与层高之比值不宜大于 1/250；
- b) 梁、板的挠度计算值不应超过表 7.1.3 规定的挠度限值。

表 7.1.3 构件挠度限值

构件类型	挠度限值
平台板	$l_0/150$
平台次梁	$l_0/200$
平台主梁	$l_0/250$
设备梁	$l_0/350$
框架梁、手电动葫芦的轨道梁	$l_0/400$
单轨吊车梁	$l_0/500$

注 1：表中 l_0 为构件计算跨度。

注 2：如构件施工制作时预先起拱，在验算挠度时，可将计算所得的挠度值减去合理起拱值。

注 3：计算悬臂构件的挠度限值时，其计算跨度 l_0 按实际悬臂长度的 2 倍取用。

- 7.1.4 框架柱计算长度等于柱高乘以计算长度系数, 计算长度系数按 GB 50017 的规定采用。
- 7.1.5 框架-支撑结构的斜撑计算长度, 可按表 7.1.5 采用。
- 7.1.6 框架柱、水平与竖向支撑的长细比不宜超过表 7.1.6 的数值。

表 7.1.5 支撑计算长度

构件名称	交叉支撑	其他支撑	
		底层	其他层
平面内	$0.5 l_1$	$1.0 l_1$	$0.8 l_1$
平面外	$1.0 l_2$	$1.0 l_2$	$1.0 l_2$

注: l_1 、 l_2 为支撑平面内、外的几何长度 (节点中心间的距离)。

表 7.1.6 柱、斜撑允许长细比

构件名称	柱	水平与竖向支撑	
		受压	受拉
允许长细比	150	150 ^a	300

^a 受压的水平支撑长细比允许值可取 200。

7.2 抗震设计

- 7.2.1 冷换框架抗震设计应符合丙类构筑物抗震设防要求。
- 7.2.2 设防烈度为 6 度 III、IV 类场地、7 度~9 度时, 框架应考虑水平地震作用, 并按框架两个主轴方向分别进行抗震验算; 验算时可不考虑竖向地震作用。
- 7.2.3 设防烈度为 6 度 I、II 类场地时, 框架可不进行抗震验算。
- 7.2.4 地震区支承主要设备的设备梁及其两端连接应满足抗震设防的要求。
- 7.2.5 多遇地震作用下, 无刚性铺板的梁应进行梁稳定验算, 梁的整体稳定系数 ϕ_b 按 GB 50017 规定确定。
- 7.2.6 钢框架在多遇地震下的阻尼比可采用 0.04; 在罕遇地震下的分析, 阻尼比可采用 0.05。
- 7.2.7 钢框架在地震作用下的内力和变形分析, 应符合下列规定:
 - a) 框架-支撑结构中框架部分按刚度分配计算得到的地震层剪力应乘以增大系数, 达到不小于结构总地震剪力的 25% 和框架部分计算最大地震层剪力 1.8 倍二者的较小者;
 - b) 在进行多遇地震作用下构件承载能力计算时, 托柱梁的内力应乘以增大系数, 增大系数不得小于 1.5。
- 7.2.8 7 度 IV 类场地、8 度非 I 类场地和 9 度时, 梁柱连接处节点域范围内的柱腹板厚度不宜小于梁、柱截面高度之和的 1/70; 其它情况下不宜小于梁、柱截面高度之和的 1/90。节点域的屈服承载力应按下列公式计算:

$$\psi(M_{pb1} + M_{pb2}) / V_p \leq (4/3) f_{yv} \quad \dots\dots\dots (7.2.8-1)$$

工字形截面柱: $V_p = h_b h_c t_w \quad \dots\dots\dots (7.2.8-2)$

$$t_{w1} = t_w \quad \dots\dots\dots (7.2.8-3)$$

箱形截面柱: $V_p = 1.8 h_b h_c t_w \quad \dots\dots\dots (7.2.8-4)$

$$t_{w1} = 1.8 t_w \quad \dots\dots\dots (7.2.8-5)$$

当节点两侧框架梁截面高度不相同, 节点域的屈服承载力可采用下式计算:

$$\psi \frac{\frac{M_{pb1}}{h_{b1}} + \frac{M_{pb2}}{h_{b2}}}{h_c t_{w1}} \leq (4/3) f_{yv} \quad \dots\dots\dots (7.2.8-6)$$

节点域的抗剪强度应按下列式计算：

$$(M_{b1} + M_{b2})/V_p \leq (4/3)f_v/\gamma_{RE} \quad \dots\dots\dots (7.2.8-7)$$

当节点两侧框架梁截面高度不相同，节点域的抗剪强度可采用下列式计算：

$$\frac{\frac{M_{b1}}{h_{b1}} + \frac{M_{b2}}{h_{b2}}}{h_c t_{w1}} \leq (4/3)f_v/\gamma_{RE} \quad \dots\dots\dots (7.2.8-8)$$

上述式中：

- M_{pb1} 、 M_{pb2} ——分别为节点域两侧梁的全塑性受弯承载力，N·mm；
- V_p ——节点域的体积，mm³；
- f_{yv} ——钢材的屈服抗剪强度，取钢材屈服强度的0.58倍；
- f_v ——钢材的抗剪强度设计值，N/mm²；
- ψ ——折减系数；7度、8度时取0.6，9度时取0.7；
- h_b 、 h_c ——分别为梁翼缘厚度中点间的距离和柱翼缘厚度中点间的距离，mm；
- h_{b1} 、 h_{b2} ——分别为节点两侧框架梁翼缘厚度中点间的距离，mm；
- t_w ——柱在节点域的腹板厚度，mm；
- M_{b1} 、 M_{b2} ——分别为节点域两侧梁的弯矩设计值，N·mm；
- t_{w1} ——柱在节点域的腹板计算总厚度，mm；
- γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，按GB 50011的规定采用。

7.2.9 在验算中心支撑斜杆的受压承载力时，应按GB 50011的规定，考虑斜杆受循环荷载时的强度降低系数。

7.2.10 钢结构构件连接应按地震组合内力进行弹性设计，并应进行极限承载力验算。

7.2.11 计算地震作用时，正常操作时框架的重力荷载代表值应取永久荷载和可变重力荷载组合值之和。平台活荷载的组合值系数宜取0.5，设备及管线的介质荷载的组合值系数宜取1.0。

7.2.12 冷换框架抗震设计应符合GB 50011和SH/T 3147的要求。

7.3 荷载和地震作用效应组合

7.3.1 冷换框架设计应按承载能力极限状态和正常使用极限状态分别进行荷载和地震作用效应组合，并应取各自最不利的效应组合进行设计。

7.3.2 承载能力极限状态下，冷换框架应分别按正常操作、停产检修、充水试压、地震作用四种工况进行荷载效应组合，取最不利情况进行构件承载力设计。

注：根据设备使用情况决定是否验算停产检修或充水试压荷载状态。

7.3.3 冷换框架结构构件荷载和地震作用效应，应根据不同工况，按表7.3.3进行荷载效应组合，并取其最不利者。

表 7.3.3 荷载和地震作用效应组合

工 况	组 合 内 容
正常操作	设备自重、结构自重、介质重、保温重、平台均布活荷载、空冷器风机和电机的当量荷载、管道各类支座的水平和竖向荷载、风荷载
停产检修	设备自重、结构自重、保温重、平台均布检修活荷载、风荷载
充水试压	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、试压时设备充水水重、风荷载
地震作用	设备自重、结构自重、介质重、保温重、平台均布活荷载、空冷器风机和电机的当量荷载、管道各类支座的水平和竖向荷载、地震作用
注：设备自重中包括管道自重。	

7.3.4 正常操作时，框架结构构件荷载效应组合的设计值，应按下式计算：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_Q S_{Qk} + \gamma_W S_{Wk} \dots\dots\dots (7.3.4)$$

式中：

- S——框架结构构件荷载效应组合的设计值；
- S_{Gk} ——永久荷载标准值的效应；
- S_{Qk} ——正常操作时可变荷载标准值的效应；
- S_{Wk} ——风荷载标准值的效应；
- γ_G ——永久荷载分项系数；
当效应对结构不利时，取 1.2；
当效应对结构有利时，取 1.0；
- γ_Q ——可变荷载分项系数，取 1.3；
- γ_W ——风荷载分项系数，取 1.4。

7.3.5 停产检修时，框架结构构件荷载效应组合的设计值，应按下式计算：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Qk1} + \gamma_W S_{Wk} \dots\dots\dots (7.3.5)$$

式中：

- S_{Qk1} ——停产检修时可变重力荷载标准值的效应；
- γ_{Q1} ——停产检修时可变荷载分项系数，取 1.3。

7.3.6 充水试压时，框架结构构件荷载效应组合的设计值，应按下式计算：

$$S = \gamma_G S_{Gk} + \gamma_{WE} S_{WEk} + \gamma_{1W} S_{1Wk} \dots\dots\dots (7.3.6)$$

式中：

- γ_{WE} ——充水试压状态时，可变荷载分项系数，取 1.1；
- S_{WEk} ——充水试压状态时，可变荷载标准值的效应；
- γ_{1W} ——充水试压状态时，风荷载分项系数，取 1.0；
- S_{1Wk} ——按风荷载标准值为 0.15kN/m^2 计算的荷载效应。

7.3.7 地震作用时，框架结构构件荷载效应组合的设计值，应按下式计算：

$$S = \gamma_{GE} S_{GE} + \gamma_d S_{dk} + \gamma_p S_{pk} + \gamma_{Eh} S_{Ehk} \dots\dots\dots (7.3.7)$$

式中：

- γ_{GE} ——重力荷载分项系数；
当效应对结构不利时，取 1.20；
当效应对结构有利时，取 1.00；
- S_{GE} ——重力荷载代表值的效应；
- S_{Ehk} ——水平地震作用标准值的效应；
- γ_{Eh} ——水平地震作用分项系数，取 1.3。

7.3.8 钢框架正常使用极限状态，应验算正常操作荷载状态下钢梁的挠度、风荷载作用下框架顶点水平位移和层间相对位移。验算挠度、水平位移时采用荷载的标准组合。

7.4 构件的承载能力极限状态计算

7.4.1 框架的结构构件在正常操作、充水试压时的承载力设计，应采用下列设计表达式：

$$\gamma_0 S \leq R \dots\dots\dots (7.4.1)$$

式中：

- γ_0 ——结构构件的重要性系数，取 1.0；
- R——结构构件抗力的设计值，应按现行 GB 50017 的规定确定。

7.4.2 框架的结构构件在地震作用时的承载力设计，应采用下表达式：

$$S \leq \frac{R}{\gamma_{RE}} \dots\dots\dots (7.4.2)$$

式中：

γ_{RE} ——承载力抗震调整系数，按 SH/T 3147 的规定采用。

7.5 卧式设备支座与梁的连接

7.5.1 卧式设备支座与梁的连接，可采用（图 7.5.1）的形式；在支承设备支座的梁中，应设置梁的横向加劲肋，加劲肋可用厚度 10mm~14mm 的钢板，并与设备支座的底板和梁用双面角焊缝连接；加劲肋宜设置在设备支座短柱下方。

7.5.2 支承设备的梁应设置与其刚接的平台次梁或其他可靠的抗扭措施，次梁应靠近支座但应错开支座加劲肋。

7.5.3 支承设备的梁，宜采用轧制截面，当轧制截面尺寸不满足要求时，可采用焊接 H 型钢。

7.5.4 梁的受压翼缘应与平台铺板焊牢或梁侧向设置平台次梁。当两端简支的工字形截面受弯构件，其受压翼缘的自由长度 l_1 与其宽度 b_1 之比不大于表 7.5.4 所规定的数值时，可不计算其整体稳定性。

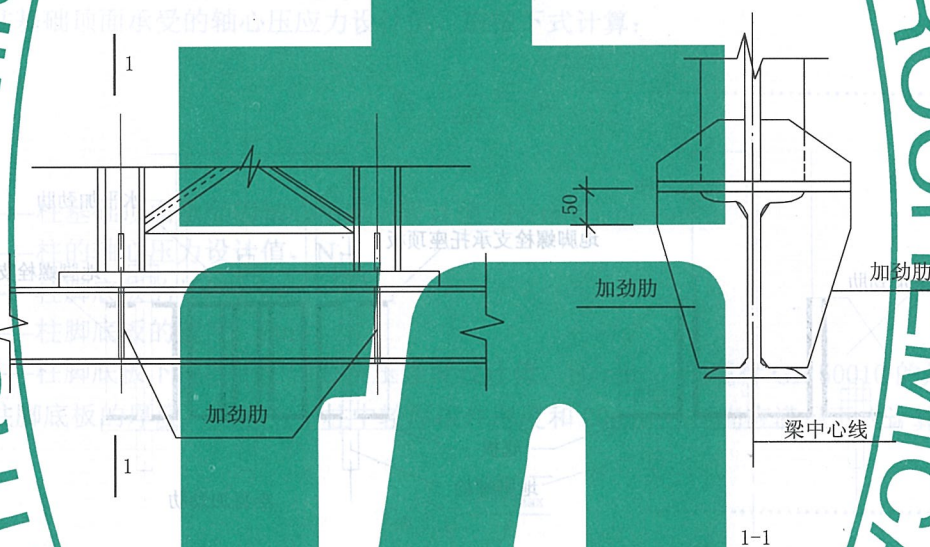


图 7.5.1 卧式设备支座与梁的连接

表 7.5.4 简支工字型截面受弯构件不需计算整体稳定性的最大 l_1/b_1

钢号	跨中无侧向支承点的最大 l_1/b_1		不论荷载作用于何处，跨中受压翼缘有侧向支承点梁的 l_1/b_1
	荷载作用在受压翼缘	荷载作用在受拉翼缘	
Q235 钢	13.0	20.0	16.0
Q345 钢	10.5	16.5	13.0

7.6 柱脚

7.6.1 柱脚可采用铰接连接和刚性连接，其型式分别见图 7.6.1-1 和 7.6.1-2。

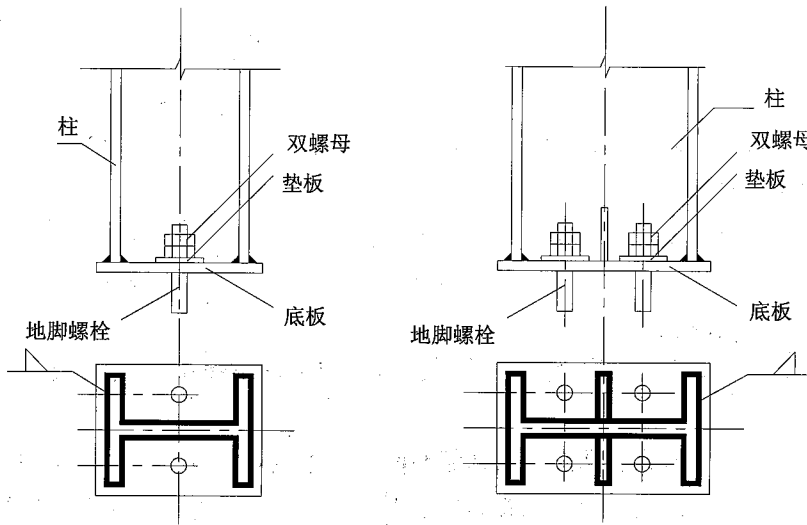
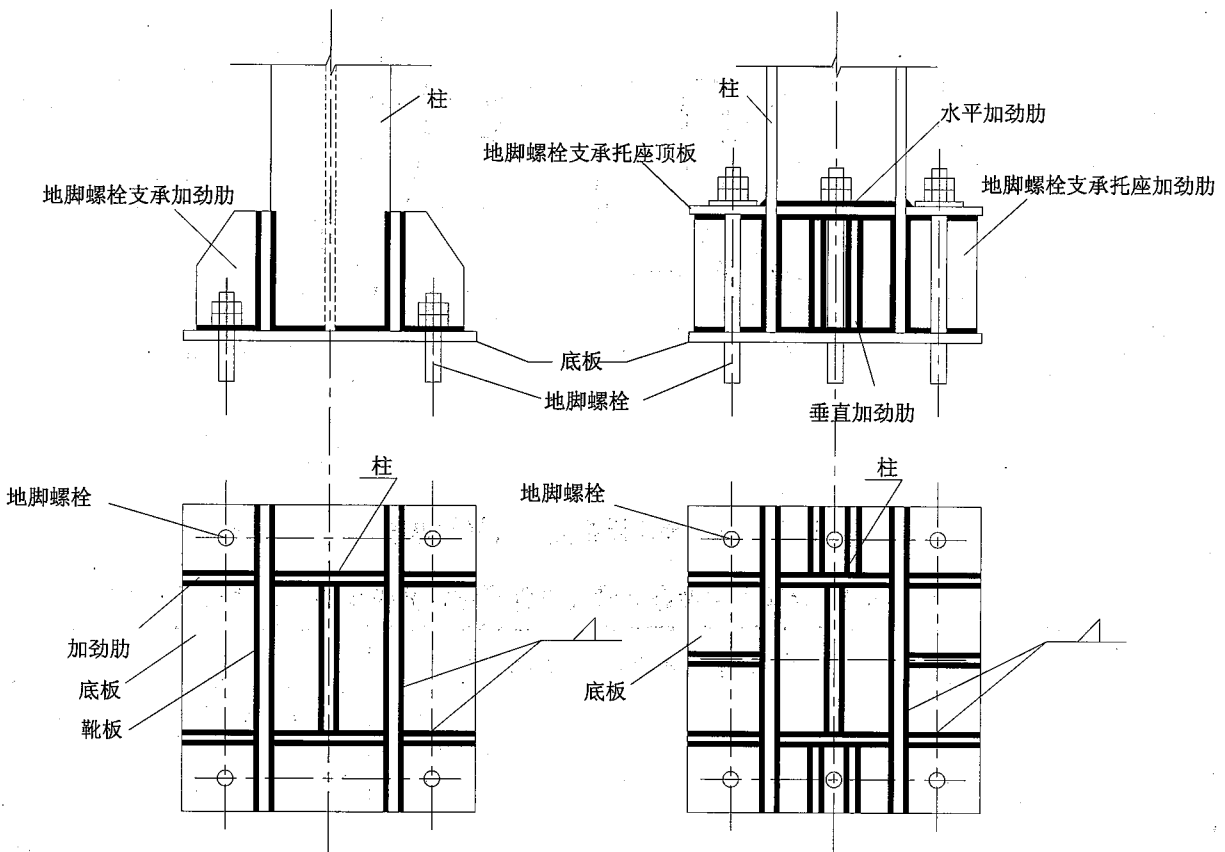
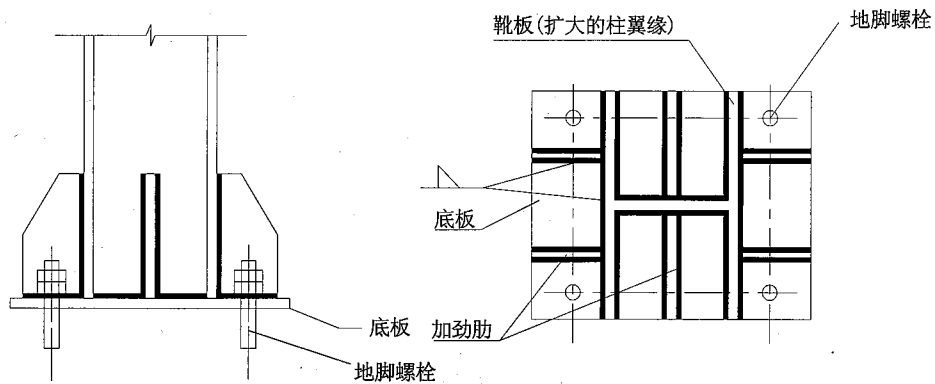


图 7.6.1-1 铰接连接柱脚示意



a) 无托座的工字型截面柱脚

b) 有托座的工字型截面柱脚



c) 靴板与柱翼缘相连的工字型截面柱脚

图 7.6.1-2 刚性连接柱脚示意

7.6.2 铰接连接柱脚，应符合下列要求：

- a) 柱基础顶面承受的轴心压应力设计值，应按下式计算：

$$\sigma_c = \frac{N}{LB} \leq f_{cc} \quad \dots\dots\dots (7.6.2-1)$$

式中：

- σ_c ——柱基础顶面承受的轴心压应力设计值， N/mm^2 ；
 N ——柱的轴心压力设计值， N ；
 L ——柱脚底板的长度， mm ；
 B ——柱脚底板的宽度， mm ；
 f_{cc} ——柱脚底板下混凝土的轴心抗压强度设计值， N/mm^2 ；按现行 GB 50010 的规定采用；

- b) 柱脚底板的厚度，除应大于柱中较厚板件厚度和 20mm 外，尚应满足下式计算要求：

$$t_{pb} \geq \sqrt{\frac{6M_{t\max}}{f}} \quad \dots\dots\dots (7.6.2-2)$$

式中：

- t_{pb} ——柱脚底板厚度， mm ；
 $M_{t\max}$ ——根据柱脚下混凝土基础的反力（或锚栓拉力）和柱脚底板的支承条件确定的最大弯矩， $N \cdot mm/mm$ ；
 f ——柱脚底板的钢材抗弯强度设计值， N/mm^2 ；

- c) 当柱脚底板下混凝土反力较大时，应设置加劲肋予以加强；
d) 柱脚底板水平力，应由柱脚底板与其下部的混凝土或二次灌浆层之间摩擦力来抵抗，其摩擦力应符合下式要求：

$$0.4N \geq V \quad \dots\dots\dots (7.6.2-3)$$

式中：

 V ——铰接柱脚中的柱脚底板水平力。

当不能满足式 7.6.2-3 要求时，可按图 7.6.2 设置抗剪连接件；

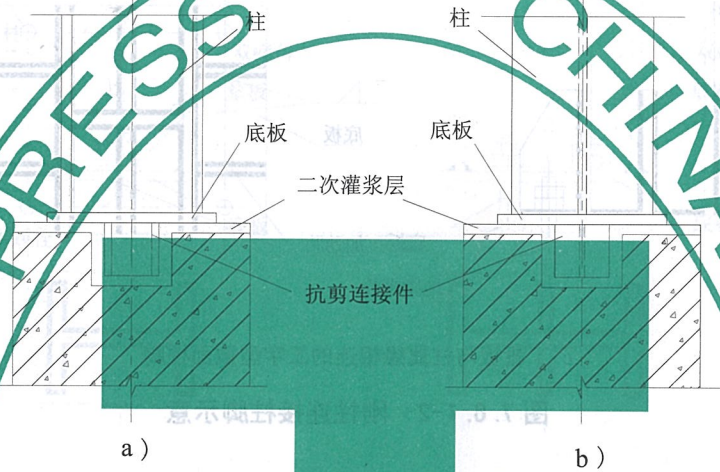


图 7.6.2 抗剪连接件设置示意

e) 地脚螺栓直径不宜小于 20mm。

7.6.3 刚性连接柱脚，应符合下列要求：

a) 柱脚底板对基础顶面的压应力最大设计值，应按下列式计算：

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{LB} + \frac{6M}{L^2 B} \leq \beta_1 f_{cc} \quad \dots\dots\dots (7.6.3-1)$$

式中：

- σ_{\max} ——柱脚底板对基础顶面的压应力最大设计值，N/mm²；
- N ——柱的轴心压力设计值，N；
- L ——弯矩作用平面内柱脚底板的长度，mm；
- B ——弯矩作用平面外柱脚底板的宽度，mm；
- β_1 ——混凝土局部受压时的强度提高系数，按 GB 50010 的规定采用。

- b) 柱脚均应设置加劲肋（加强板），以加强柱脚的刚度（图 7.6.1-2 a））；当柱底内力较大时，应增设地脚螺栓支承托座等补强措施（图 7.6.1-2 b））；
- c) 柱脚底板的长度、宽度和厚度应按式 7.6.2-2 和式 7.6.3-1 计算确定外，尚应满足构造上的要求；厚度应大于等于柱中较厚板件的厚度，且不宜小于 20mm；
- d) 加劲肋的高度和厚度应由计算确定；但高度不宜小于 250mm，厚度不宜小于 10mm，地脚螺栓支承托座的顶板厚度宜为底板厚度的 0.5 倍~0.7 倍；
- e) 柱脚底板水平力宜按第 7.6.2 条 d) 款验算；
- f) 地脚螺栓的直径，应按式 7.6.3-2~式 7.6.3-5 计算确定，并应留有 2mm 的富裕量，且不宜小于 24mm；
- g) 当柱为拉弯构件时，仅考虑地脚螺栓传递柱内力。地脚螺栓的拉力按式 7.6.3-2 计算；

$$T_{\max} = \frac{n_1 N}{n} + \frac{1.15M}{L_1} \quad \dots\dots\dots (7.6.3-2)$$

式中：

- T_{\max} ——一侧所有地脚螺栓的最大拉力设计值，kN；
- N ——柱底拉力设计值，kN；
- M ——柱底弯矩设计值，kN·m；

L_1 ——柱底两侧地脚螺栓之间的距离，m；

n ——柱脚总螺栓数；

n_1 ——计算方向单侧螺栓数；

- h) 对于柱为压弯构件，当 $\varepsilon \leq 1.2$ 时地脚螺栓按构造要求配置， $\varepsilon > 1.2$ 时，单侧地脚螺栓承受的总拉力按下列各式计算，受力简图见图 7.6.3。

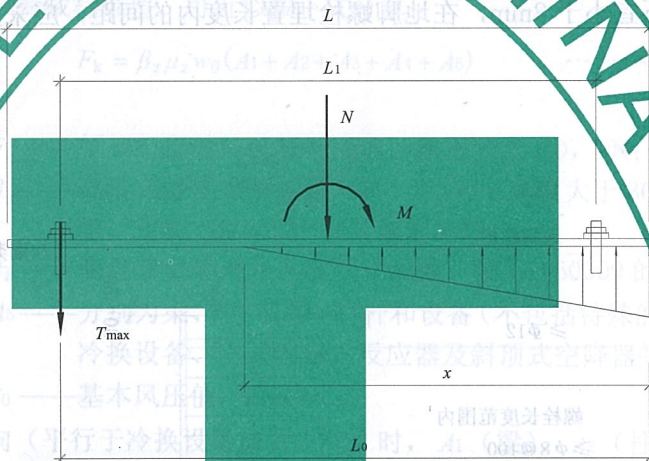


图 7.6.3 地脚螺栓计算简图

$$\varepsilon = \frac{6M}{NL} \quad (7.6.3-3)$$

$$x = \frac{L}{2} \left(1 + \frac{1}{\varepsilon} \right) \quad (7.6.3-4)$$

$$T_{\max} = \frac{M - N \left(\frac{L}{2} - \frac{x}{3} \right)}{L_0 - \frac{x}{3}} \quad (7.6.3-5)$$

式中：

N ——柱底压力设计值，kN；

ε ——柱底压力偏心系数；

x ——柱脚底板受压区长度计算值，m；

L_0 ——受拉地脚螺栓到受压区底板板边的距离，m。

7.6.4 柱脚底板和地脚螺栓支承托座顶板的螺栓孔径，宜取螺栓直径加 4mm。地脚螺栓应采用双螺帽或其他能防止螺帽松动的有效措施。

8 地基基础

8.1 框架独立基础在停产检修时，基础底面与地基土之间零应力区面积不应超过基础底面面积的 25%；其他荷载状态时，基础底面与地基土之间零应力区面积不应超过基础底面面积的 15%。

8.2 钢柱基础短柱的构造，应符合下列规定：

- 混凝土基础顶面高出设计地面不宜小于 150mm，且基础顶面应设置二次灌浆层，待框架柱安装后填实；
- 二次灌浆层宜采用无收缩水泥砂浆、强度等级比基础高一个等级的无收缩细石混凝土或水泥基无收缩灌浆料。有剪力键时二次灌浆层宜采用水泥基无收缩灌浆料。二次灌浆层采用无收缩

- 水泥砂浆、水泥基无收缩灌浆料时其厚度宜为 30mm，采用无收缩细石混凝土时其厚度宜为 50mm（图 8.2）；
- c) 地脚螺栓中心至短柱平面外边缘距离不应小于 150mm，且不得小于 $4d$ （ d 为地脚螺栓直径）；柱脚底板边线到短柱顶面边缘的距离不宜小于 70mm；
 - d) 基础短柱竖向钢筋直径不宜小于 12mm，间距不宜大于 300mm，且每边配筋率不小于 0.05%。
 - e) 短柱竖向钢筋应锚入基础底板内不小于钢筋锚固长度；
 - f) 短柱箍筋直径不宜小于 8mm，在地脚螺栓埋置长度内的间距，应采用 100mm，其他部位为 200mm。

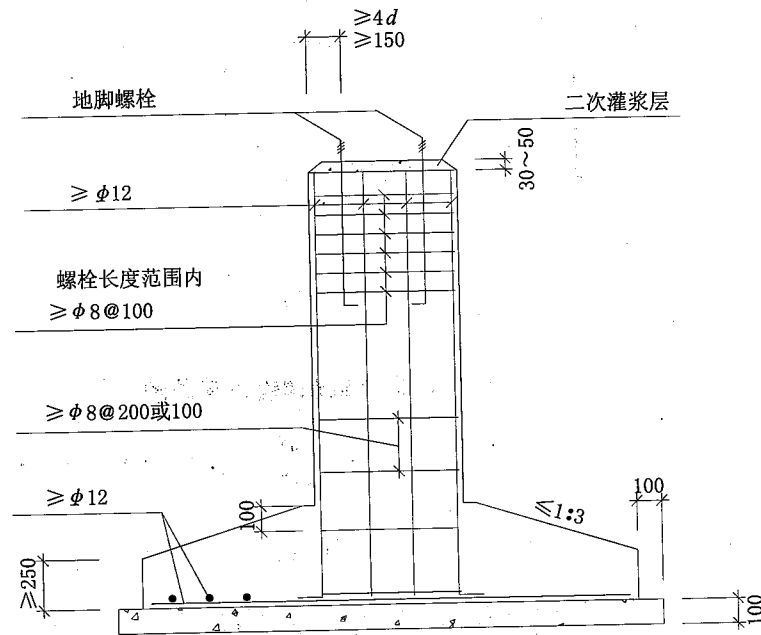


图 8.2 钢柱基础配筋构造

- 8.3 基础底板内钢筋直径不宜小于 12mm，间距不宜大于 200mm，底板中受拉钢筋的配筋率不应小于 0.15%。
- 8.4 基础底板边缘高度不应小于 250mm。
- 8.5 基础底板下层受力钢筋保护层不应小于 40mm，当无垫层时不应小于 70mm。腐蚀环境应根据防腐设计要求确定受力钢筋保护层厚度。

附录 A
(资料性附录)
框架风荷载近似计算

A.1 各榀框架每层的风荷载标准值，可近似按下式计算：

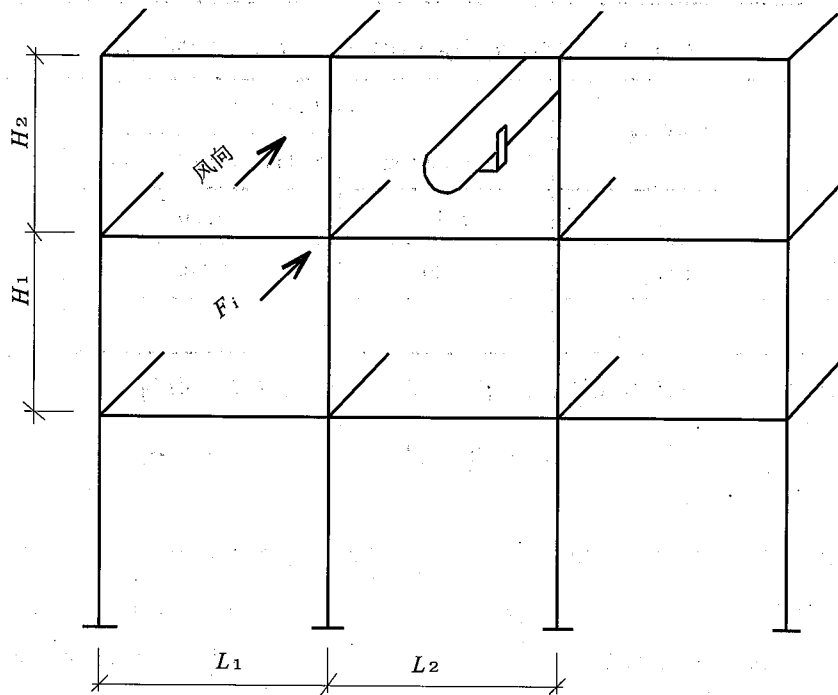
$$F_k = \beta_z \mu_z w_0 (A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5) \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- F_k ——框架每层的风荷载标准值（作用节点上），kN；
- β_z ——高度 Z 处的风振系数，取 1.0；对于高度大于 30m 且高宽比大于 1.5 的框架，可按 GB 50009 有关规定考虑；
- μ_z ——高度 Z 处的风压高度变化系数；按 GB 50009 的有关规定采用；
- A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 、 A_5 ——分别为梁、柱、斜撑、栏杆和设备（不包括特殊的设备，如直径大于 1.20m 冷换设备、立式容器、反应器及斜顶式空降器等）的折算挡风面积， m^2 ；
- w_0 ——基本风压值， kN/m^2 。

A.2 风作用在框架横向（平行于冷换设备放置方向）时， A_1 （梁）、 A_2 （柱）、 A_3 （斜撑）、 A_4 （栏杆）、 A_5 （设备）的计算（图 A.2）方法如下：

a) 风横向作用时， A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 可按表 A.2-1 计算；



注： F_i ——梁柱交点处风荷载设计值，kN。

图 A.2 风横向作用时计算简图

表 A.2-1 风横向作用时 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 的计算公式

风作用方向的跨数	单跨	两跨
A_1 / m^2	$2.25(h_{b1}L_1 + h_{b2}L_2)$	
A_2 / m^2	$1.3h_c(H_1 + H_2)$	$2h_c(H_1 + H_2)$
A_3 / m^2	人字、八字撑	$1.5d_1(L_1 + H_1) + 1.5d_2(L_2 + H_1)$
	十字交叉撑	$2d_1(L_1 + H_1) + 2d_2(L_2 + H_1)$
A_4 / m^2	$0.2(L_1 + L_2)$	

注：
 h_{b1} —— F_i 作用点左边跨本层平台面中最高一根梁的截面高度，m；
 h_{b2} —— F_i 作用点右边跨本层平台面中最高一根梁的截面高度，m；
 L_1 —— F_i 作用点左边跨的跨度，m；
 L_2 —— F_i 作用点右边跨的跨度，m；
 h_c —— F_i 作用点处柱截面宽度，m；
 H_1 —— F_i 作用点处下柱的高度，m；
 H_2 —— F_i 作用点处上柱的高度，m；
 d_1 —— F_i 作用点左边影响范围内（下层范围）的斜撑最大挡风宽度，钢管取半径，m；
 d_2 —— F_i 作用点右边影响范围内的斜撑最大挡风宽度，钢管取半径，m。

表 A.2-2 风横向作用时的 A_5^a 、 A_5^b 、 A_5^c 的取值

设备折算 挡风面积	设备台数	冷换设备		平顶式空冷器
		$DN \leq 800mm$	$800mm < DN \leq 1200mm$	
A_5^a 、 A_5^b / m^2	1 台	1.13	1.90	1
	n 台	$1.13n$	$1.90n$	$1.00n$
A_5^c / m^2				$1.2(L_1 + L_2)$

b) 风横向作用时， A_5 可按下式计算， A_5^a 、 A_5^b 、 A_5^c 按表 A.2-2 取值：

$$A_5 = A_5^a + A_5^b + A_5^c \dots\dots\dots (A.2)$$

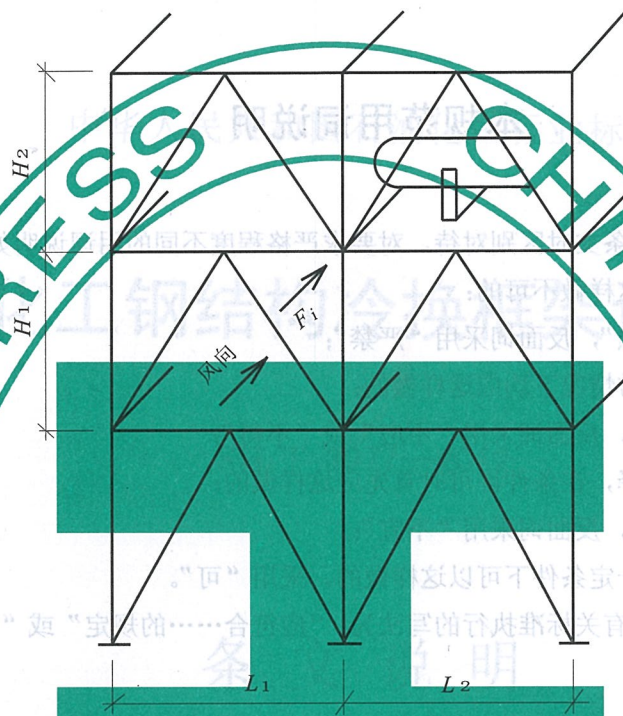
式中：

- A_5^a —— F_i 作用点的一层平台上，位于 F_i 左边跨的设备折算挡风面积， m^2 ；
- A_5^b —— F_i 作用点的一层平台上，位于 F_i 右边跨的设备折算挡风面积， m^2 ；
- A_5^c —— F_i 作用在顶层且顶层有空冷器时，空冷器框架和管束的折算挡风面积， m^2 。

A.3 风作用在框架的纵向（垂直于冷换设备放置方向）时， A_1 （梁）、 A_2 （柱）、 A_3 （斜撑）、 A_4 （栏杆）、 A_5 （设备）的计算（图 A.3）方法如下：

- a) 风纵向作用时 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 可按表 A.3-1 计算；
- b) 风纵向作用时 A_5 按式 A.1 计算， A_5^a 、 A_5^b 、 A_5^c 按表 A.3-2 取值。

A.4 当平台冷换设备均匀布置没有空跨时，设备总风荷载不宜大于最大一组设备风荷载的 3 倍。



注: F_i ——梁柱交点处风荷载设计值, kN。

图 A.3 风纵向作用时的计算简图

表 A.3-1 风纵向作用时 A_1 、 A_2 、 A_3 、 A_4 的计算式

风作用方向的跨数	单跨	两跨	n 跨
A_1 (横向承重) / m^2	$1.85(h_{b1}L_1 + h_{b2}L_2)$		$13(1 - 0.95^{n+1})(h_{b1}L_1 + h_{b2}L_2)$
A_1 (纵向承重) / m^2	$2.25(h_{b1}L_1 + h_{b2}L_2)$		$13(1 - 0.95^{1.5n+0.5})(h_{b1}L_1 + h_{b2}L_2)$
A_2 / m^2	$1.3h_c(H_1 + H_2)$	$2h_c(H_1 + H_2)$	$13h_c(1 - 0.95^{n+1})(H_1 + H_2)$
A_3 / m^2	人字撑、 八字撑	$1.5d_1(L_1 + H_1) +$ $1.5d_2(L_2 + H_1)$	$2.2d_1(L_1 + H_1) +$ $2.2d_2(L_2 + H_1)$
	十字交叉撑	$2d_1(L_1 + H_1) +$ $2d_2(L_2 + H_1)$	$3d_1(L_1 + H_1) +$ $3d_2(L_2 + H_1)$
A_4 / m^2	$0.2(L_1 + L_2)$		

表 A.3-2 风纵向作用时的 A_5^a 、 A_5^b 、 A_5^c 取值

设备折算 挡风面积	设备台数	冷换设备		平顶式空冷器
		$DN \leq 800\text{mm}$	$800\text{mm} < DN \leq 1200\text{mm}$	
A_5^a 、 A_5^b / m^2	1 台	2.33	3.62	0.7
	2 台	4.20	6.18	1.4
	n 台	$0.47 + 1.6n$	$1.05 + 2.2n$	$0.7n$
A_5^c / m^2				$1.2(L_1 + L_2)$

本规范用词说明

1. 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
2. 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国石油化工行业标准

石油化工钢结构冷换框架设计规范

SH/T 3077—2012

条文说明

2012 北 京

修订说明

SH/T 3077—2012《石油化工钢结构冷换框架设计规范》经工业和信息化部 2012 年 11 月 7 日第 55 号公告批准发布。

本规范是在 SH 3077—96《石油化工企业钢结构冷换框架设计规范》的基础上修订而成，上一版的主编单位是中国石化工程建设公司，主要起草人是张立成、陈树棕、蒋津。

本规范修订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国石油化工工程建设的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，修改了一些技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《石油化工钢结构冷换框架设计规范》编制组按章、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规范正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规范规定的参考。



目 次

5 基本规定	27
5.1 结构形式及一般要求	27
5.2 节点连接	27
6 荷载和地震作用	27
6.1 荷载分类	27
6.2 平台活荷载	27
6.3 空冷器风机和电机的当量荷载	27
6.4 风荷载	28
6.5 地震作用	28
7 结构设计	28
7.1 一般规定	28
7.2 抗震设计	29
7.3 荷载和地震作用效应组合	29
7.5 卧式设备支座与梁的连接	29
7.6 柱脚	29
8 地基基础	30
附录 A (资料性附录) 框架风荷载近似计算	31

石油化工钢结构冷换框架设计规范

5 基本规定

5.1 结构形式及一般要求

5.1.1 结构布置的原则是避免结构在水平荷载或地震作用下框架产生大的扭转，避免形成薄弱层。

5.1.2 框架-支撑结构的抗侧力性能、抗振动性能都很好，并能充分发挥钢材的性能，节约材料。在满足生产操作条件下，冷换框架设计中应优先采用框架-支撑结构。

5.1.3 管道、设备的安装和检修直接影响冷换框架平台的梁板和斜撑布置。正常操作工况下，管道、设备内温度的变化对平台开洞及洞边梁的布置影响较大，框架设计时应重视。

5.1.4 地震区不应采用 K 形撑。单拉撑仅能抵抗一个方向的水平力，地震区采用单拉撑时，应成组对称设置。

5.1.5 未设置水平支撑的冷换框架平台抗水平荷载的能力较差，当平台上有水平荷载时应设计水平力传力途径，设置可靠的水平支撑系统。

平台铺板为花纹钢板时，冷换框架平台有一定的平面刚度但比较小。因此，规则结构可不设置水平支撑；各榀框架侧向刚度相差较大、竖向支撑布置又不规则时，宜在顶层和中间层两处设置水平支撑。

平台铺板为钢格栅板时，冷换框架平台平面刚度很差，为发挥冷换框架的抗侧力体系的整体性能，协调各榀框架承受的水平荷载，改善结构整体的抗侧力能力，冷换框架应在多个标高的平台设置水平支撑。

5.1.6 考虑到风荷载、地震作用可能来自各个方向，结构承重方向的刚度在抵抗竖向荷载时已得到充分重视，非承重方向结构的整体刚度容易忽视，故特别作出规定应予确保。

5.1.10 为保证操作安全，本条新加了平台内无设备（或管道）孔洞周边应设置钢栏杆的要求。

5.1.11 为确保钢结构的使用年限，应根据冷换框架所处环境确定腐蚀性等级，采取相应的防腐措施。沿海地区如有盐雾腐蚀，应采取防盐雾腐蚀措施。

5.2 节点连接

5.2.4~5.2.6 梁、柱接长和焊缝质量等级要求是根据多年设计经验本次修订新增加的。

6 荷载和地震作用

6.1 荷载分类

冷换框架承受的永久荷载与可变荷载分类的原则是：恒载是每种工况都有的荷载，各工况特有的荷载定义为可变荷载。本次规范修订按照这个原则对上版规范进行了修改。

6.2 平台活荷载

当由设备、管道及其它工具等产生的局部荷载较大时，推荐采用等效均布活荷载计算结构，平台板、平台次梁、平台主梁宜按实际受力情况设计。

6.3 空冷器风机和电机的当量荷载

6.3.1 空冷器风机和电机的竖向当量荷载，采用动力系数法确定，即将设备总重量乘以动力系数，这种方法计算简便，也是常用的简化方法。

6.3.2 空冷器风机和电机的水平当量荷载，采用水平当量静力方法。经框架振幅实测分析，并与《动规》中有关扰力、水平向当量荷载计算公式综合计算分析，得出每台风机和电机的水平当量荷载的加

权平均值约为风机和电机重量的 25.29%，为偏于安全 K_{hd} 取 0.3。

多台风机的水平振动荷载的合成是一个随机荷载组合的问题。由于风机偏心的方向和速度不同，起始点的差异等的影响，每台风机水平扰力的方向往往不相同，台数越多其同相的可能性越小，所以规范采用随机荷载组合法，取所有水平力平方和的平方根（SRSS 法）作为合力值。但当仅有两台风机时，其同相位的可能性很大，故采用水平力相加的方法计算其合力值。多台风机作用时，需考虑仅有两台风机工作而其他风机不工作的工况，计算时应取上述两种计算方法计算出的大值。

由于钢平台侧向刚度较差，隔跨的水平动力作用影响较小，可以忽略。设计中可仅考虑风机和电机对框架相邻柱的水平动力作用影响。实测也证实了这理论。

6.4 风荷载

6.4.1~6.4.4 由于冷换框架是敞开式构筑物，框架风荷载一般是结构构件、栏杆、设备及管道等挡风面逐一计算，手工时计算量大，而且计算繁烦，宜采用程序计算。为了简化手工计算量，前辈们曾设想引进一个综合挡风系数，但由于冷换框架结构形式多样，平面布置各不相同，各构件截面形式、尺寸均相差太大，统计分析的挡风面综合折算系数在 0.21~2.3 之间，离散性太大，无法采用挡风面综合折算系数的近似计算方法。设计可采用附录 A 提供的近似计算方法计算，该方法已广泛应用，使用方便，本次修订稍做修改。

本次修订列出了单台卧、立式设备风荷载计算的公式，计算卧式设备时请考虑设备支座（通常为两个）的挡风面积。

6.4.4 冷换框架通常有多台换热器并列，设计时应考虑前后设备的遮挡，当多组卧式设备沿横向均匀布置时，计算取第一组设备风荷载、最大一组设备风荷载（第一组设备除外），其他设备考虑被遮挡，考虑到设备中心距多在 3m 左右，两台设备按荷载规范前后双管，后面设备的体型系数取为 0.4，多台密布时，后面设备的总体型系数为 $1.4 - 0.6 = 0.8$ ，考虑设备间的间距达不到密布的要求，多台设备可取 1.0。按此方法计算的，平台卧式设备横向总风荷载不大于最大一组设备风荷载的 3 倍。

均匀布置指每跨都布置有卧式设备，不出现某跨没有布置卧式设备。当卧式设备布置出现空跨时，应再新分一组按上述原则计算。

6.4.8 设备风荷载作用在设备形心处，距支承平台有一定的高度，该水平力产生的弯矩对设备梁和框架有影响，不应忽略，本次修订增加条款要求考虑此影响。

6.5 地震作用

6.5.1~6.5.3 考虑到地震作用可能来自各个方向，冷换框架的两个最不利的主轴方向都应考虑水平地震作用，并考虑地震的扭转效应。

设备水平地震作用近似认为作用在设备重心处，距平台面有一定的距离，与风荷载同样的道理，本次修订增加条款要求考虑设备水平地震产生的弯矩对设备支承梁及框架的影响。

7 结构设计

7.1 一般规定

7.1.2 直接承受动力荷载的结构是指直接承受空冷器风机和电机的梁。当空冷器的风机和电机基座直接设置在平台上时，应采取必要的措施防止结构震动。

7.1.3 GB 50017—2003 附录 A.2.1 条规定：多层框架结构在风荷载作用下的顶点水平位移与总高度之比不宜大于 1/500，层间相对位移与层高之比不宜大于 1/400；其附注 1 指出：对墙壁的多层框架结构，层间相对位移可适当放宽。考虑到石化冷换框架上人少等使用特点和多年来使用方未对本条提出意见，故本条未做修改。

平台板、平台次梁、平台主梁在停产检修（包括安装）和正常操作两种工况的平台活荷载取值不同，考虑到按停产检修（包括安装）工况时 4.0 kN/m^2 的平台活荷载计算挠度，故平台板、平台次梁、

平台主梁的挠度限值适当放宽。

7.1.6 本条增加了水平支撑的长细比要求，受压水平支撑长细比允许值可放宽到 200。地震区构件的长细比要求见 GB 50011《建筑抗震设计规范》。

7.2 抗震设计

7.2.1 冷换框架的抗震设防分类是根据 GB 50453《石油化工建（构）筑物抗震设防分类标准》的要求按一般设备框架取值。

7.2.2~7.2.3 SH/T 3147—2004《石油化工构筑物抗震设防规范》第 5.1.2 条规定：抗震设防烈度为 6 度乙、丙、丁类构筑物可不进行地震作用计算，考虑炼厂大型化，冷换设备越做越大、越来越重，6 度区的地震作用影响越来越大，本次修订要求 6 度 III、IV 类场地要考虑水平地震作用。由于冷换框架不属于高耸、高悬重心构筑物，可以不考虑竖向地震作用。

7.2.4 与民用结构不同，直接或间接支承石化设备的设备梁是结构抗震的第一道防线，设备梁支承设备，直接承受和传递设备重力荷载和地震附加作用，设备梁的抗震性能直接影响结构抗震设计的成败。上版规范中对这个问题没有要求，主要是当时对这个问题的认识不够，经过这些年的研究和探讨，我们认为结构要达到抗震三水准的要求，设备梁及两端连接满足抗震设计是前提。设计时，设备梁宜满足“中震不屈服、大震安全”的要求。

7.2.8 在节点域验算中，各本《抗震规范》对柱两侧不等高梁的验算方法都未涉及。本条给出了节点两侧梁截面高度不相同，节点域的屈服承载力和抗剪强度的计算公式，以方便设计。

7.2.12 这次规范修订中，修改了地震作用状态时，框架结构构件荷载效应组合设计值的计算方法，按照《抗震规范》要求，将竖向重力荷载合并成重力荷载代表值（不再分恒活载），这条是重力荷载代表值的取值方式。

7.3 荷载和地震作用效应组合

7.3.2 冷换框架的建设、使用可分为正常操作、停产检修、充水试压、地震作用四种工况，本条要求分别计算这四种工况的荷载效应组合，取最不利情况进行构件承载力设计。停产检修应包括设备安装。

7.3.3~7.3.7 按照荷载分类的修改，各组合的组成进行了修改。正常操作、停产检修时，可变荷载分项系数取 1.3。充水试压时，可变荷载分项系数取 1.1，风荷载分项系数取 1.0。地震作用工况的表达式按照《抗震规范》要求重新编写，不分恒活载，用重力荷载代表值代替。

7.3.8 本条为新增，主要规定正常使用极限状态下需验算的内容和方法。

7.5 卧式设备支座与梁的连接

7.5.1~7.5.2 安置在冷换框架平台上的卧式设备，多采用设备支座来支承设备和调节设备中心高度。支座不仅要满足传递竖向设备荷载的要求，也要满足传递设备水平荷载的要求。设置设备梁横向加劲肋的目的，是把设备竖向荷载更好的传递到设备梁腹板。由于设备梁平面外刚度和抗扭刚度都很小，垂直于设备梁方向的设备水平荷载及其产生的扭矩设备梁不能承受，需要传递到柱。设置与设备梁刚接的平台次梁的目的，主要是传递该扭矩（也能传递部分水平力）。传递平台水平力最好的方法是设置水平支撑。

7.5.4 本条是对所有平台主梁、设备梁的规定。

7.6 柱脚

7.6.3 刚性柱脚的多个计算公式均为新增。拉弯柱的柱脚，仅考虑地脚螺栓传递柱内力，拉力公式由 7.6.3-5 简化而得。地脚螺栓的拉力计算采用最经典、最常用的简化算法（式 7.6.3-5）。在十多种地脚螺栓的拉力计算方法中，该方法计算的拉力最大，采用此计算方法的原因有二，一是考虑柱与基础间的相对转动影响到上部框架的内力，弹性设计阶段应避免，如采用极限理论方法，相对转动不可避免；二是地脚螺栓也是重要的节点连接构件，抗震设计时强节点的概念在柱脚也适用，因此弹性设计阶段应留有余地。

7.6.4 防止螺帽松动是确保地脚螺栓正常工作的前提。螺帽松动也引发过工程事故，设计中应充分重视。

8 地基基础

8.1 除停产检修外，其他荷载状态时独立基础的零应力区面积与基础底面面积的比值从 25%改为 15%，这主要是国标抗震规范做了修改，也与地基承载力计算采用的组合方式改变有关。

附 录 A
(资料性附录)
框架风荷载近似计算

本附录适用于比较规则的框架，不太适用于特别复杂的框架。

这次主要修改了斜撑、梁和多跨风荷载计算。

结构平台上，与风横向垂直的设备梁至少两根，风横向作用时，梁总数超过四根，原值偏小，原整体体型系数为 3.2 (约为 2.5 根梁)，这次修编考虑设备梁较高和前后遮挡，整体体型系数取 4.5 (约为 3.5 根梁)，比上版多算一根梁。

只有当纵向承重时，平台上才有与风纵向垂直的设备梁，一般情况下纵向不考虑设备梁，横向承重时仅考虑框架梁的挡风影响。当纵向承重时，取值方法同横向，表中按两种情况给出计算式。

多榀框架风荷载时，整体体型系数的取法参照 GB 50009—2001 表 7.3.1 的 32 项、34 项，纯框架挡风系数在 0.1~0.2 之间， η 取 0.95。框架支撑结构挡风系数大于 0.2 之间， η 取 0.9。

中 华 人 民 共 和 国
石 油 化 工 行 业 标 准
石 油 化 工 钢 结 构 冷 换 框 架 设 计 规 范
SH/T 3077—2012

*

中国石化出版社出版
中国石化集团公司工程标准发行总站发行
地址：北京市东城区安定门外大街 58 号
邮编：100011 电话：(010) 84271850
石化标准编辑部电话：(010) 84289937
读者服务部电话：(010) 84289974
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail: press@sinopec.com
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 2.5 字数 72 千字
2013 年 4 月第 1 版 2013 年 4 月第 1 次印刷

*

书号：155114·0605 定价：32.00 元
(购买时请认明封面防伪标识)