

单层工业厂房 抗震设计

徐 建 裘民川 刘大海 武仁岱 编著

地震出版社

单层工业厂房抗震设计

徐 建 裘民川 刘大海 武仁岱 编著

地 震 出 版 社

2004

图书在版编目(CIP)数据

单层工业厂房抗震设计/徐建等编著. —北京:地震出版社,2004. 5
ISBN 7-5028-2334-4

I. 单… II. 徐… III. 工业建筑-抗震设计 IV. TU27

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 086459 号

单层工业厂房抗震设计

徐 建 裘民川 刘大海 武仁岱 编著

责任编辑:李 玲

责任校对:王花芝

出版发行:地震出版社

北京民族学院南路 9 号

邮编:100081

发行部:68423031 68467993

传真:88421706

门市部:68467991

传真:68467972

总编室:68462709 68423029

传真:68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销:全国各地新华书店

印刷:北京鑫丰华彩印有限公司

版(印)次:2004 年 5 月第一版 2004 年 5 月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:397 千字

印张:15.5

印数:0001~4000

书号:ISBN 7-5028-2334-4/TU·170(2928)

定价:35.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

内 容 提 要

本书针对工业建筑中单层厂房的抗震设计问题,以现行国家和行业标准为依据,吸收国内外最新科研成果和工程经验,较全面地总结了厂房的震害经验,有针对性地提出了各类厂房的总体布置、结构选型、结构整体性、连接与节点等概念设计要求,提出了厂房的抗震计算方法和合理的抗震构造措施等内容。

本书共分五章,包括单层厂房抗震的概念设计,单层钢筋混凝土柱厂房、单层砖柱厂房和单层钢结构厂房的抗震设计,并附有大量工程抗震计算实例。

本书内容丰富,资料齐全,可供建筑工程设计、施工、科研人员及大专院校有关专业师生使用。

前 言

单层厂房在工业建筑中得到广泛的应用。由于单层厂房采用装配式结构,抗震性能与其它类型建筑相比有其特殊性,抗震设计方法也经历了不断完善的过程。

我国较早的厂房抗震设计是参照原苏联地震区建筑设计规范,对厂房作近似的计算和采取一些构造措施。

20 世纪 60 年代,我国邢台、河间、阳江、通海、东川地震,为单层厂房的抗震设计提供了依据,特别是积累了单层砖柱厂房的震害经验。在此基础上,1974 年正式颁布了我国第一部《工业与民用建筑抗震设计规范(TJ11—74)》。

20 世纪 70 年代,我国相继发生海城地震和唐山地震,大量建筑物遭到破坏,一些 20 世纪 50 年代建造的钢筋混凝土柱厂房损坏,使人们更加认识到单层厂房抗震问题的重要性。根据海城地震和唐山地震的震害经验和科研成果,修订颁布了《工业与民用建筑抗震设计规范(TJ11—78)》。在单层厂房抗震设计方面,该规范对提高厂房抗震薄弱部位的抗震能力作了明确的规定。

20 世纪 80 年代,我国从事工程抗震的科技工作者围绕单层厂房的抗震,开展了一系列理论和科学试验的专题研究,如单层厂房的横向和纵向空间分析、突出屋面天窗架的水平地震作用、不等高厂房中柱地震作用效应的高振型影响、屋架与柱顶连接节点及柱头的抗震性能、单层厂房整体和钢筋混凝土柱的抗震性能、柱间支撑的抗震性能、不等高厂房支承低跨屋盖柱牛腿的抗震性能等,这些成果为《建筑抗震设计规范(GBJ11—89)》单层厂房抗震设计部分的修订奠定了基础。

20 世纪 90 年代以来,我国在工程抗震的科学研究和工程实践中取得了较大的进展,国内外发生的澜沧、武定、丽江、伽师、包头、台湾地震及美国旧金山和洛杉矶地震、日本阪神地震,造成了大量建筑物和工程设施的破坏,取得了新的震害经验。2001 年,我国新版《建筑抗震设计规范(GB 50011—2001)》颁布实施。新规范在单层厂房抗震设计方面比《89 规范》主要有下列改进:①结构布置上增加了厂房过渡跨、平台、上吊车铁梯布置和结构型式的要求;②补充了屋架和排架结构选型的要求;③完善了钢筋混凝土柱厂房的抗震分析方法,修改了大

柱网厂房双向水平地震作用时的组合方法;④补充了屋盖支撑布置的规定;⑤补充了排架柱箍筋设置要求和大柱网厂房轴压比控制的要求;⑥增加了砖柱厂房纵向简化计算方法;⑦补充了钢结构厂房结构体系的规定;⑧提出了钢结构厂房按平面结构简化计算的条件;⑨修改了钢构件长细比和宽厚比的规定;⑩增补了钢柱脚的抗震设计方法。

本书是在系统总结国内历次地震中单层工业厂房震害经验的基础上,结合我国单层工业厂房抗震的科学研究和工程实践的成果,根据《建筑抗震设计规范(GB50011—2001)》的设计原则,对钢筋混凝土柱厂房、砖柱厂房和钢结构厂房的抗震设计规定作了比较系统和深入的论述,以便设计人员能够较全面的了解和掌握单层工业厂房抗震设计的基本原则、抗震设计思想、抗震设计要点和抗震设计方法。本书着重阐述基本原理和概念,并能应用这些原理和方法考虑抗震设计方案和采取相应的措施,书中附有大量的设计实例,对于技术人员解决工程问题具有很好的参考作用。

本书由徐建(中国机械装备集团公司)、裘民川(中元国际工程设计研究院)、刘大海(中国建筑西北设计院)、武仁岱(北京钢铁设计研究总院)共同编写,蔡昶(冶金建筑研究总院)参加了第四章的部分编写工作。本书编写过程中,参考引用了一些作者的著作和论文,在此致以谢意!书中不当之处,敬请批评指正。

作 者

2003年5月

目 录

第一章 单层工业厂房抗震的概念设计	(1)
第一节 厂房的总体布置	(1)
一、厂房的平面布置	(1)
二、厂房的竖向布置	(2)
三、厂房结构的总体布置	(2)
四、防震缝的设置	(2)
第二节 厂房的结构选型	(3)
一、天窗架的选型	(3)
二、屋架的选型	(3)
三、柱子的选型	(4)
四、柱间支撑的选型	(4)
五、围护结构	(5)
第三节 厂房结构的整体性	(5)
一、确保屋盖的整体性	(5)
二、合理的设置抗震圈梁	(6)
第四节 厂房的连接与节点	(6)
第二章 单层钢筋混凝土柱厂房	(7)
第一节 单层钢筋混凝土柱厂房的震害特征	(7)
一、屋盖系统	(7)
二、柱子系统	(11)
三、支撑系统	(15)
四、围护墙系统	(18)
五、结构构件连接系统	(19)
第二节 单层钢筋混凝土柱厂房的主要震害经验	(21)
第三节 单层钢筋混凝土柱厂房的抗震计算	(23)
一、厂房的横向抗震计算	(24)
二、厂房的纵向抗震计算	(56)
第四节 支撑与连接节点的抗震计算	(83)
一、支撑系统的抗震计算	(83)
二、连接节点的抗震计算	(85)
第五节 单层钢筋混凝土柱厂房的抗震构造措施	(92)
一、屋盖系统	(93)
二、柱与柱列系统	(101)

三、围护墙系统	(110)
第三章 单层砖柱厂房	(113)
第一节 单层砖柱厂房的震害特征	(113)
一、抗震性能评价	(113)
二、震害调查	(114)
三、主要震害及特征	(114)
第二节 单层砖柱厂房的结构布置和构件选型	(116)
一、平面和体形	(116)
二、厂房与生活间的连接	(117)
三、车间与构筑物	(118)
四、墙体的布置	(118)
五、圈梁的布置	(121)
六、屋盖结构选型	(123)
七、山墙选型	(123)
八、构造柱	(124)
九、屋盖支撑的布置	(124)
十、下弦系杆	(127)
第三节 单层砖柱厂房的抗震计算	(127)
一、厂房的横向抗震计算	(127)
二、厂房的纵向抗震计算	(138)
第四章 单层钢结构厂房	(149)
第一节 单层钢结构厂房的震害特征	(149)
一、柱间支撑	(149)
二、钢柱柱脚支座锚栓连接	(149)
第二节 单层钢结构厂房抗震概念设计	(150)
一、厂房抗震概念设计的主要原则	(150)
二、厂房抗震概念设计的主要内容	(151)
三、对厂房主要附件的要求	(155)
第三节 单层钢结构厂房的抗震计算	(156)
一、厂房的横向抗震计算	(157)
二、厂房的纵向抗震计算	(164)
三、厂房山墙的抗震计算	(173)
四、厂房构件竖向地震作用的验算	(173)
五、支撑系统和连接节点的抗震计算	(175)
第五章 单层厂房抗震计算实例	(183)
第一节 单层钢筋混凝土柱厂房抗震计算实例	(183)
一、横向抗震计算实例	(183)
二、纵向抗震计算实例	(201)
三、连接节点抗震计算实例	(206)

第二节 单层砖柱厂房抗震计算实例	(210)
一、横向抗震计算实例	(210)
二、纵向抗震计算实例	(213)
第三节 单层钢结构厂房抗震计算实例	(214)
一、横向抗震计算	(219)
二、纵向抗震计算	(221)
参考文献	(236)

第一章 单层工业厂房抗震的概念设计

单层厂房在工业建筑中得到广泛的应用。采用单层厂房,生产工艺流程相对简捷,地面上可以放置较重的机器设备和产品,内部生产运输容易组织。目前单层厂房主要是装配式结构,其抗震性能不仅取决于结构和构件的抗震能力,也取决于厂房的整体性,特别是连接的抗震性能。单层厂房的抗震性能虽然可以从计算和构造两方面加以解决,但正确的概念设计对于保证单层厂房地震时的安全性也是至关重要的。

单层厂房抗震设计时,应从提高厂房整体的抗震能力着手,使厂房在总体上满足抗震的要求,而不是仅仅考虑局部的构件和部位。在建筑结构布置上,要强调结构的质量和刚度分布均匀、对称协调;厂房体型简单规正、重心降低;在结构整体性上要求厂房具有较大的整体和空间稳定性;构件节点及其连接部分具有较好的变形和吸收能量的能力;在材料选择上要尽量采用轻质高强材料,以减轻厂房重量,降低地震作用。

上述抗震设计的基本概念,集中体现在厂房的总体布置、结构选型、结构整体性、连接与节点设计四个方面。

第一节 厂房的总体布置

一、厂房的平面布置

厂房的平面布置,应力求使所设计的厂房体型简单、对称均匀、规正平直。多跨厂房的各跨宜等长,避免产生扭转效应的影响。

与厂房贴建的房屋和构筑物不宜布置在厂房的角部。厂房的角部是两个主轴方向地震作用的交汇处,受力和变形比较复杂。当贴建的房屋位于厂房角部时,将使厂房的山墙和纵墙的交接处均为开口,此时严重削弱了结构的整体性,形成了质量和刚度的双向偏心,地震时扭转效应加大,造成结构受力和变形的不协调。特别是贴建房屋与厂房的刚度相差较大,动力反应显著不同,地震时厂房与贴建房屋变形不协调,对厂房和贴建房屋均产生不利影响。

与厂房贴建的房屋和构筑物也不宜布置在紧邻防震缝处。在地震作用下,防震缝处排架的侧移量较大;当有贴建房屋时,将产生互相碰撞和变形受到约束而产生严重破坏,唐山地震中出现过不少厂房倒塌或震害加重的震例。

吊车停放处排架的侧移刚度将增大,加大了局部的地震反应;特别是多跨厂房各跨吊车集中在同一轴线附近时,产生的震害更为严重。吊车停放的位置与上吊车铁梯的位置有关,因此厂房内上吊车的铁梯不应靠近防震缝设置,多跨厂房各跨上吊车的铁梯不宜设置在同一横向轴线附近。

二、厂房的竖向布置

厂房的竖向布置,要避免质量和刚度沿高度的突变,多跨厂房的各跨宜等高,使厂房沿竖向受力均匀、变形协调。

厂房屋盖在纵横向都宜在同一柱高上,不宜采用不等高的屋盖布置。大量地震震害表明,沿竖向刚度和质量的突变处震害都比较严重,如不等高厂房高低跨交接处中柱的上柱截面和支承低跨屋盖的牛腿处,由于屋盖不在同一标高,厂房产生的高振型影响使地震破坏加重。当工艺或功能要求必须采用不等高厂房时,可采用防震缝将高低跨分成各自独立的单元,或考虑由于不等高产生的高振型影响,加强高低跨交接处中柱的抗震能力。

三、厂房结构的总体布置

厂房结构的总体布置,应力求使厂房的质量和刚度分布均匀,尽量使质量中心与刚度中心重合,使厂房结构所受的地震作用分布均匀,地震时变形协调。

厂房两端山墙宜对称设置,不宜采用一端有山墙、另一端开口的结构布置,这种结构方案使厂房两端的刚度截然不同,质量中心与刚度中心不重合,导致开口一端排架柱变位加大,扭转效应明显,地震震害也较大。

厂房的纵墙布置宜尽量使各纵向柱列刚度对称均匀。不宜采用一侧有纵墙,另一侧无纵墙;一侧为刚度较大的砌体墙,另一侧为刚度较小的轻板;两侧柱列采用嵌砌砌体墙,中间柱列为柱间支撑;一侧为嵌砌墙,另一侧为贴砌墙。这种结构布置将造成纵向刚度的严重不均匀,刚度中心与质量中心产生较大的偏离,各柱列地震作用分配不均匀,变形不协调,导致柱列和屋盖的纵向破坏。

厂房内结构布置应避免产生局部刚度较大的区域。厂房内的工作平面与主体结构连接时,改变了主体结构的工作形态,由于产生应力集中而加大了地震反应,有时还可能产生短柱效应。此时不仅影响排架柱,也可能涉及柱顶的连接和相邻的屋盖结构。此种情况下,进行计算分析和采取加强的构造措施都较困难,设计时最好将工作平台与主体结构脱开。厂房内隔墙的布置也要尽量均匀,不宜在局部区域内过量集中,也不宜在厂房平面内无规则的布置;要避免由于内隔墙刚度分布不均匀造成整个厂房空间刚度不均匀,使地震作用的传递和分配复杂化。内隔墙最好沿若干个排架有规则的设置,并尽量连续布置,使地震作用的传递不中断。当因工艺要求必须设置不规则的内隔墙时,可以采取将墙体与柱脱开或外贴柱边的构造处理,避免墙体刚度对整个厂房刚度分布带来的不利影响。

在厂房的同一结构单元内,不应采用不同的结构形式。不同形式的结构,振动特性不同,侧移刚度也不同;在地震作用下,往往由于荷载、位移、强度的不平衡而造成结构的破坏。山墙承重和中间有横墙承重的单层钢筋混凝土柱厂房和端砖壁承重的天窗架,在唐山地震中破坏都较严重;因此厂房的端部应设屋架,不应采用山墙承重,厂房单元内不应采用横墙和排架混合承重。

四、防震缝的设置

当厂房的体型复杂时,可采用防震缝将厂房分成若干简单的结构单元,以减少由于体型复杂厂房的各部分由于振动特征不同,在地震作用下引起不同的变形和产生过大的内力,造

成开裂和破坏。

厂房在下列情况下应设置防震缝:①厂房体型复杂时,如厂房的纵跨与横跨相交、厂房沿纵向屋盖高低错落、厂房沿横向高低跨刚度相差悬殊等;②厂房的角部或防震缝处有贴建的房屋和构筑物时;③两个主厂房之间的过渡跨应至少有一侧采用防震缝与主厂房分开。

防震缝的两侧应设墙或柱,而不宜做成开口式。防震缝的宽度应满足地震时相邻结构单元相对变位而不发生碰撞的要求。一般情况下,防震缝的宽度可采用 50~90mm,在厂房纵横跨交接处、大柱网厂房或不设柱间支撑的厂房,防震缝的宽度可采用 100~150mm。

当厂房在静力设计时已考虑设伸缩缝或沉降缝时,防震缝的设置可与之合并考虑,缝的宽度必须按防震缝宽度的要求设计。

第二节 厂房的结构选型

一、天窗架的选型

天窗架是突出屋面的承重和抗侧力结构,地震时动力反应大,特别易造成较严重的沿厂房纵向的震害。

天窗架材料的选择应考虑尽量减轻其自重,以减小地震作用。不论采用何种结构型式,天窗屋盖的端壁板和侧板应尽量采用轻质材料,不宜采用大型屋面板。突出屋面的天窗宜采用钢结构,以适应地震时变形和抗震承载力的需要。烈度为 6~8 度时也可采用钢筋混凝土天窗架,其杆件截面应设计成矩形。

厂房宜采用突出屋面较小的避风型天窗,有条件或烈度为 9 度时应采用下沉式天窗,这种天窗具有良好的抗震性能,唐山地震中甚至经受了 10 度地震区的考验。烈度 9 度时不宜采用突出屋面的 Π 形天窗。

如天窗从厂房的第二柱间开始设置,将使端开间的屋面板与屋架焊接的可靠性大大降低而导致地震时掉落,同时也大大降低屋面的纵向水平刚度。考虑到 6 度和 7 度时厂房的地震作用效应较小且很少有屋盖破坏的震害,以及通风和采光的要求,现行抗震规范规定 8 度和 9 度时天窗架宜从厂房单元端部第三柱间开始设置。当山墙能够开窗或采光要求不高时,天窗架尽可能从厂房单元端部第三柱间开始设置。

二、屋架的选型

屋架是单层厂房屋盖的主要承重结构。震害经验表明:经过抗震设计的预应力混凝土屋架、预应力混凝土或钢筋混凝土屋面梁,都具有一定的抗震能力,地震时未发生因屋架或屋面梁本身结构问题而产生的震害。

不同类型屋架的抗震性能也存在差异,钢屋架可有效的降低屋盖自重,不仅能够承受较大的水平地震作用,还能承受较大的竖向地震作用,能显著地提高屋架的抗震承载力,增强其变形能力。轻型大型屋面板无檩屋盖和钢筋混凝土有檩屋盖的抗震性能也较好,经历过 8~10 度地震区的考验。

厂房屋架的设置,应根据其跨度、柱距、抗震设防烈度、场地情况等综合考虑。一般情况下,厂房宜采用钢屋架或重心较低的预应力混凝土或钢筋混凝土屋架;跨度不大于 15m 时,

亦可采用钢筋混凝土屋面梁；厂房跨度大于 24m、或 8 度Ⅲ、Ⅳ类场地和 9 度时，应优先采用钢屋架；柱距为 12m 时，可采用预应力混凝土托架（梁），当采用钢屋架时，亦可采用钢托架（梁）。

有突出屋面天窗架的屋盖不宜采用预应力混凝土或钢筋混凝土空腹屋架，这种屋架的腹杆及上弦节点均较薄弱，在天窗两侧竖向支撑的附加地震作用下，容易产生节点破坏和腹杆折断的震害。

在选择钢筋混凝土屋架时，要采用整榀式结构，不应采用拼接式结构，以避免地震时因拼接节点不良而导致屋架的破坏。

三、柱子的选型

单层厂房的柱子包括钢筋混凝土柱、钢柱及砖柱。从抗震性能来看，钢柱的抗震性能最好，钢筋混凝土柱次之，砖柱的抗震性能相对较差。

作为结构选型考虑，采用钢柱为好。以往钢柱的使用受到我国经济条件的限制，仅在一些特别重要的厂房或生产工艺有特殊要求的厂房中采用。随着我国国力的增强，钢柱的使用将越来越多。

目前，我国厂房结构中还是采用钢筋混凝土柱为主，钢筋混凝土柱的抗震性能也较好，经受过较高烈度区地震的考验。特别是在静力设计中，柱的截面和配筋考虑了风荷载和吊车荷载的作用，在承载力上有较大的安全储备。只要按照抗震要求进行设计，厂房的抗震要求能够得到满足。

砖柱厂房的抗震性能较差，目前仅限于跨度和高度较小的厂房。无筋砖柱的承载能力低、延性和变形能力差，只能用于 6 度和 7 度地区。组合砖柱是在砖柱中配置了竖向钢筋和箍筋，并有一定厚度的混凝土面层，其抗震性能得到改善。由于砖柱厂房抗震性能差的特点，使用范围受到了很大的限制，目前只允许在单跨和等高多跨且无桥式吊车的厂房中采用，6~8 度时跨度不大于 15m 且柱顶标高不大于 6.6m，9 度时跨度不大于 12m 且柱顶标高不大于 4.5m。

柱子的截面要选择具有良好抗侧力刚度的截面形式。柱子截面宜采用矩形或工字形，或带斜腹杆的双肢柱，而不宜采用薄壁开孔或预制开孔腹板的工字形柱，也不宜采用平腹杆式的双肢柱，后者的抗侧力刚度差，在地震中产生较大的侧向变位，导致柱子的剪切破坏。对于有吊车厂房的阶形柱上柱，其截面宜采用矩形，以增强上柱截面的抗剪能力。

柱子的抗侧力刚度不宜过大，以防止因刚度增大而导致厂房地震作用的显著加大，对厂房的总体抗震产生不利影响。柱子截面设计时，要使配筋量和钢筋布置有利于提高柱子的延性，使其在进入弹塑性阶段后，仍具有较好的变形能力和承载力。

四、柱间支撑的选型

柱间支撑是单层厂房纵向的主要抗侧力构件，其抗侧力刚度占中柱列的 90% 以上，地震期间，厂房的纵向水平地震作用主要靠柱间支撑承担。柱间支撑选型的原则是：具有较大的回转半径且用钢量较少，尽量减小杆件的长细比。

柱间支撑一般采用 T 形组合截面或槽钢，当排架柱截面高度较大或两侧均有吊车时，往往采用两个槽钢组成的双片支撑，或由四个角钢组成的格构式支撑。柱间支撑的斜杆与水

平面的夹角不得大于 55° ，当柱子高度很大时，亦可做成多节型交叉支撑。

五、围护结构

单层厂房的围护结构，有时不仅具有围护作用，还具有抗侧力的功能。横向的山墙使屋盖的空间作用得到发挥，纵向的墙体减轻了边柱列的破坏。

目前，除钢结构厂房外，单层厂房的围护结构仍以砌体结构为主。从抗震的角度看，砌体墙自重大、抗震承载力低、延性差、地震时易于开裂破坏。一系列地震震害表明，砌体围护墙的破坏比轻质墙板或与柱柔性连接的大型钢筋混凝土墙板要严重得多。钢筋混凝土大型墙板对于增强厂房的整体性和提高围护墙自身抗震能力具有明显的优越性，可以有效地减小厂房的地震作用。有条件时，应尽量采用轻质墙板或大型墙板。

对于砌体围护墙，应采用与柱外贴式砌筑。如采用柱间嵌砌墙体，不仅由于厂房柱列刚度增大而增加了地震作用，地震作用在各柱列的分配也严重不均匀。即使单跨厂房，也不应采用两侧嵌砌墙体，虽然单跨厂房不存在纵向刚度不均匀问题，但采用嵌砌墙也会由于纵向柱列刚度的增加而增大纵向地震作用，特别是由于柱顶地震作用的集中对柱顶节点的抗震很不利。对于砌体围护墙，除应提高砌体强度外，还应加强与厂房出平面的锚拉；对于高大的山墙，应采用到顶的抗风柱和墙顶的屋面卧梁相连接来改善其出平面的抗震性能。

第三节 厂房结构的整体性

一、确保屋盖的整体性

单层厂房屋盖的整体性直接关系到屋盖自身的整体空间刚度和抗震能力，也关系到屋盖产生的地震作用能否均匀协调地传递到厂房的柱子上。震害表明，屋盖整体性很差的厂房，不仅由于屋盖自身抗震能力弱而出现屋面板错位、屋架倾斜、屋面板坠落、屋架倒塌等震害，而且由于屋盖产生的地震作用不能向下部排架柱均匀传递，造成部分厂房柱破坏严重。

屋盖的整体性，主要依靠大型屋面板与屋架上弦的牢固焊接和设置屋盖支撑体系使屋盖形成具有一定整体刚度的空间结构体系。设计时再特别强调屋面板与屋架上弦焊接质量的要求。屋盖支撑要根据地震时的受力特点和传力需要布置，不能把支撑视为临时构造措施或仅按静力要求设置，更不允许设计不设屋盖支撑的屋盖结构。

地震时所有的支撑杆件都是受力构件，所以各支撑系统的布置及支撑杆件的截面都应符合抗震要求。突出屋面天窗架支撑系统和厂房纵向柱列柱间支撑是厂房在纵向地震作用下的主要抗侧力构件，支撑刚度要合理选择。如刚度过大，会导致天窗和厂房纵向地震作用的加大；如刚度过小，会使支撑失去作用，导致天窗和厂房纵向柱列变位过大。一般宜考虑将支撑的刚度分散，设置多道支撑的方案。

厂房上下支撑在布置上要协调和配套，使上下支撑系统在受力上形成封闭的空间桁架体系，在刚度上均匀协调，在地震作用的传递上直接明确。如在柱间支撑开间内同时设置屋盖上弦横向支撑，地震时使屋盖上弦横向支撑与柱间支撑共同整体工作，直接将屋盖产生的地震作用传递到其下面的柱间支撑。

二、合理的设置抗震圈梁

抗震圈梁将厂房围护墙形成整体并与厂房柱紧紧相连,使所有排架柱沿纵向形成共同受力的结构体系,为排架柱地震作用的空间分配提供了有利条件。

厂房柱顶标高处设置的圈梁作用更为显著,凡未设此顶部圈梁的厂房,排架柱顶的变位较大,柱身和与之连接的围护墙体的震害严重;该圈梁不仅增强了墙体与厂房柱的抗震整体性,还可以有效地控制围护墙裂缝的开展和延伸,并限制了围护墙倒塌的范围。

地震震害表明,设置圈梁对于提高厂房角部墙体的抗震能力具有明显的作用,可以加强角部墙体的整体性,避免角度墙体发生严重的开裂破坏。

对于高大的厂房和不等高厂房,由于厂房顶部地震反应大,应沿厂房高度及不等高厂房的高跨封墙增设抗震圈梁,并与厂房柱有可靠的锚拉。

第四节 厂房的连接与节点

单层厂房的连接和节点设计,对于整个厂房抗震能力的发挥至关重要,许多厂房地震中产生严重破坏和倒塌是由于连接节点设计不良造成的。在厂房结构中,只要连接节点产生破坏,各装配式的构件将失去联系,所有的支撑系统和圈梁等加强整体性的措施就会失去作用。因此,单层厂房的抗震设计要特别注重连接节点的部位。

在单层厂房连接节点中,主要的连接节点有:①屋架与柱顶的连接节点;②不等高厂房支撑低跨屋盖的柱牛腿与屋架的连接节点;③柱与柱间支撑连接节点;④天窗两侧竖向支撑与天窗立柱的连接节点。

单层厂房连接节点的抗震设计,应遵循下列原则:①连接节点的承载力不小于所连接结构构件的承载力,连接节点的破坏不先于结构构件的破坏;②连接节点应具有良好的变形能力,保证与之相连接的结构构件进入弹塑性工作阶段,节点不产生脆性破坏。

连接节点预埋件的设计应引起足够的重视,预埋件应具有良好的承受不同方向地震作用的能力,能够抵抗由地震引起的拉、弯、剪、扭等复合地震作用效应,预埋件与连接结构构件的节点板之间的连接构造应具有足够的承载力和良好的变形能力。

第二章 单层钢筋混凝土柱厂房

第一节 单层钢筋混凝土柱厂房的震害特征

单层钢筋混凝土柱厂房是由预制钢筋混凝土屋架(或钢屋架)与钢筋混凝土柱组装成的预制装配式结构。在各个工业生产领域中应用很广,遍及全国所有城市。此类厂房一般用于大、中型有吊车的厂房,跨度为12~30m,屋架下弦标高为7~24m,吊车起重量为5~150t。屋盖结构大部分为以大型屋面板为主的无檩体系,少量也有采用轻型屋面板材的有檩体系。厂房布置一般为单跨,多跨等高和多跨不等高三种。

上述结构类型的单层钢筋混凝土柱厂房在我国历次地震中特别是1976年的唐山大地震中经受了地震的考验,积累了丰富的抗震实践经验、大量的震害资料和在试验研究基础上的科学分析数据,为我国单层钢筋混凝土柱厂房的抗震设计提供了设计依据。

为了更有针对性地对单层钢筋混凝土柱厂房采取有效的抗震措施和更好地理解《抗震规范》对单层钢筋混凝土柱厂房抗震设计所提出的各项计算和构造措施规定,这里对此类厂房在地震中的总体震害概况和各部分结构在地震作用下的主要震害及特征,抗震薄弱环节作一些基本介绍,以利设计人员能在了解和掌握厂房结构震害特征的基础上更好地进行此类厂房结构的有效抗震设计。

单层钢筋混凝土柱厂房在多次地震中反映的震害概貌是:在7度地震区,厂房的主体结构完好,支撑系统基本完好,主要震害是砖围护墙体的局部开裂或外闪。在8度地震区,主体结构(排架柱)开始出现开裂损坏,有的严重开裂破坏;天窗架立柱开裂;屋盖与柱间支撑有相当数量出现杆件压曲或节点拉脱,砖围护墙产生较重开裂,部分墙体局部倒塌,山墙顶部多数外闪倒塌。在9度地震区,震害显著加重,主体结构严重开裂破坏,屋盖破坏和局部倒塌;支撑系统大部分压曲,节点拉脱破坏;砖围护墙大面积倒塌;有的厂房整个严重破坏。

下面分别介绍在不同地震烈度的作用下,厂房各部分结构产生的主要震害及破坏特征。

一、屋盖系统

单层钢筋混凝土柱厂房大部分采用无檩屋盖,即大型屋面板屋盖,少量的是有檩屋盖。在地震作用下,前者震害较重,后者震害较轻。

(一) 钢筋混凝土无檩屋盖

1. 屋面板

屋面板(指1.5m×6m的钢筋混凝土大型屋面板)在地震作用下的主要震害为:

(1) 与屋架上弦连接的支座部位发生沿屋面板长向的纵向错动移位,严重者从屋架上

弦塌落。屋面板支座沿纵向的移位,在7度区就有发生,在8度区则更多。在海城地震中的鞍山和唐山地震中的天津,不少厂房屋盖的屋面板支座纵向错动移位。有的屋面板从屋架上塌落。产生这一震害的主要原因是,屋面板与屋架上弦的连接及焊缝质量不符合设计要求。例如:①天津重机厂一万多块屋面板的支座连接焊缝满足三点焊的很少,而且焊缝质量大部分不符合设计要求;②唐山某厂房22块屋面板中符合三点焊的只有9%,两点焊的为40%,一点焊的为24%,完全未焊的达27%;③天津某厂房有一个柱距的屋面板全部没有与屋架焊连。大量的震害调查资料还表明,许多屋面板支座虽有焊连,但其焊缝长度过短,有的仅10mm左右,甚至只是点焊一下。在8度区发生屋面板塌落的另一个重要原因是,屋面板支座的支承长度不足,有的甚至不到30mm,因而当屋面板与屋架上弦发生相对错位时,特别是在屋盖支撑布置薄弱,相对错位较大时,屋面板就会从屋架上塌落。

(2) 在屋面板主肋端头支承处产生开裂破坏。这一破坏主要发生在屋架(屋面梁)端头上第一块屋面板的外侧主肋,而且破坏最重的是位于柱间支撑开间上面的屋面板。这一震害证实了屋盖产生的地震作用确是通过屋面板主肋传递的,也证实了厂房屋盖产生的纵向地震作用最后确实集中到柱间支撑开间上面的屋面板,并由它传递给柱间支撑。由于屋面板主肋及其端部支座的配筋与构造都没有考虑承受和传递水平地震作用的要求,所以,在地震作用下,其主肋端部支座处出现混凝土开裂破坏是不可避免的。

2. 屋架

屋架的主要震害是屋架的部分杆件局部破坏和屋架的整榀倒塌,这种现象一般都发生在8度及8度以上地震区。

屋架的局部破坏主要表现为:

(1) 屋架端头顶面与屋面板支座焊连的预埋板松动,导致埋板下混凝土开裂甚至剥落(图2-1)。这是由于屋架端头顶面预埋板的锚固能力差以及屋架端头截面的配筋不足所造成。

(2) 拱形屋架端头上部支承屋面板的小立柱水平剪裂(照片1)。其原因是小立柱配筋构造的抗剪能力不足。

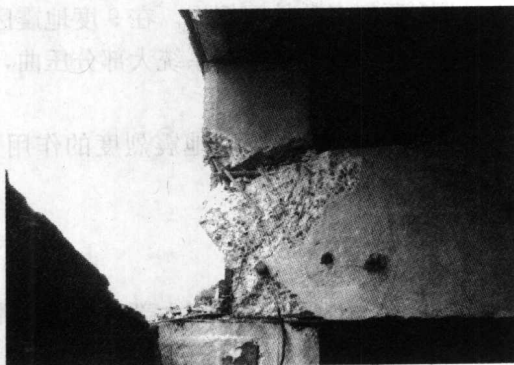
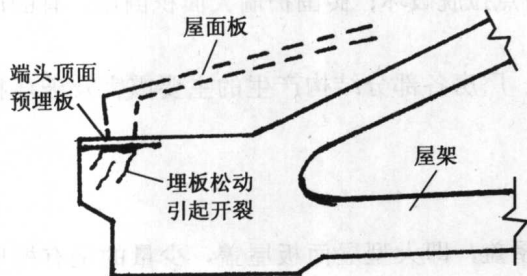


图2-1 屋架端头顶面预埋板松动和板下混凝土开裂

照片1 拱形屋架端头上部小立柱剪裂

(3) 屋架(包括拱形与梯形屋架)上弦第一节间弦杆剪裂,严重者混凝土断裂(图2-2),以及梯形屋架的端竖杆水平剪裂(照片2)。这是因为屋架的上弦和梯形屋架的端竖杆在设计