

基于抗震性能化的钢结构厂房设计思路对比研究

罗熙

中国市政工程西南设计研究总院有限公司

摘要：钢结构厂房在随着工业化进程的不断推进的背景下，在工业建筑中得到了广泛的应用。但是地震是一种难以预测的自然灾害，因此建筑本身也需要满足相应的抗震性能要求从而确保结构的安全。本论文基于抗震性能化，对钢结构厂房设计进行对比和研究，探讨不同设计思路对钢结构厂房抗震性能的影响。

关键词：抗震性能化；钢结构厂房；设计思路

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.12.105

引言

随着科技的发展和社会的进步，人们对建筑物的安全性和耐久性的要求越来越高。特别是在地震频发的地区，如何提高建筑物的抗震性能，减少地震对建筑物的破坏，已经成了建筑行业的重要课题。在众多的建筑结构类型中，钢结构厂房由于其结构形式简单、施工方便、造价低廉等优点，被广泛应用于各种工业生产中。然而，较多的钢结构厂房在实际地震中，其抗震性能往往不能满足要求。因此，如何提高钢结构厂房的抗震性能，成了当前建筑行业的重要研究方向。

一、钢结构厂房的设计特点

钢结构厂房不仅在跨度大、体积大、利用率高、灵活性、耐久性和经济性等方面具有其独特的特点，还在环保性方面有着得天独厚的优势。在当前社会对环保性日益重视的背景下，将环保因素融入钢结构厂房的设计中显得十分必要。环保性的设计首先要考虑材料的选择，对于建筑物的材料应尽量达到可回收利用的要求，从而减少对自然资源的过度消耗。环保性设计还体现于节能、减排等方面。可在设计过程中通过优化建筑的隔热、保温设计，选用效率较高的能源系统等手段从而减少能源消耗。此外，环保性设计还需考虑在施工及后期运营过程中的噪音及灰尘污染。钢结构相比于混凝土结构其材料本身及施工过程中都更为环保，对于后期运营中的问题可增设隔音、防尘等技术手段，从而减少对周边环境的噪音影响。综上所述，钢结构厂房的设计在满足生产需要的同时也更加着重于环保设计，对于促进可持续发展和实现绿色工业建设具有重要意义^[1]。

二、抗震性能化的设计原则

（一）体系的合理布局

在设计钢结构厂房时，结构的合理布局是提高其抗震性能的关键。设计时应充分考虑地震力的作用方向和大小，以及厂房内部设备和人员分布等因素，通过对结

构的合理布局，以减小地震对厂房的影响。如将重型设备布置在厂房的中心位置，以减少地震对结构的影响，将人员密集的区域布置在靠近出口的地方，以便在地震发生时，人员可以快速疏散。同时还可以通过设置柱间支撑、柱底铰接等措施，用于提高厂房的抗震能力。然而对于提高厂房抗震性能的所有措施中，柱和梁的布置形式是至关重要的。尽可能选用多跨式的框架形式可使厂房具有较好的抗震性能，因为此结构形式能使建筑在两个方向上都具有较高的刚度，避免产生一个方向刚度较弱的情况，另一方面也能减少单个柱子的竖向荷载，有利于减小柱子及基础的截面尺寸。

（二）连接节点的设计

钢结构厂房的连接节点设计也会影响到厂房的抗震能力。在抗震性能化设计过程中，连接节点的设计需考虑到节点受力的不同情况，钢结构的节点连接一般采用高强度螺栓或焊接等方式。高强度螺栓因其具有强度高、连接性强、施工质量可控等特点，从而能有效的使构件连接为一个整体。在具体的设计过程中，需根据不同的连接形式及受力方式，尽可能确保连接节点具备足够的强度。对于受力较为复杂的厂房，其节点的设计还需进行试验验证，评估连接节点的性能和稳定性。综上所述，合理的连接节点设计，也是提高钢结构厂房的抗震性能的手段之一，从而确保其在地震中能够保持结构的稳定性^[2]。

（三）综合运用各种抗震技术

对于地震烈度较高的地区，运用现代的减隔震技术，也是提高厂房抗震性能的重要手段。减隔震技术的原理一方面是用橡胶和钢等材料有效地吸收和分散地震能量，从而减小地震对厂房的影响。另一方面是通用隔震设置将地震波的传播路径延长，使到达目标建筑的地震效应减弱。

三、基于抗震性能化的钢结构厂房设计的优势

通过体系的合理布局、连接节点的设计以及综合运用各种抗震技术等手段，其目的都是为了增加结构的抗震能力，提高厂房的抗震性能。首先，体系的合理布置可使建筑物受力较为均匀，针对薄弱部位采用相应的加强措施，做到“对症下药”而不是整体加强。其次，连接节点的设计可保证建筑物的整体性，也能使局部的受力更为明确，且能够有效减小结构受力集中的程度，降低关键部位的破坏概率。综合运用各种抗震技术的核心是对地震能量的消耗，通过以上的手段均能有效的降低

地震对建筑物的影响，为建筑物的长期安全运行提供了坚实的保障。提高建筑物的抗震性能旨在进一步确保建筑物在地震中的安全性，通过全面考虑抗震性能化设计原则，使建筑结构在地震荷载作用下表现出更强的抗力和适应性。抗震性能化设计为保障人员生命安全和财产安全提供了可靠的技术支持。

四、基于抗震性能化的钢结构厂房设计思路对比

（一）高延性-低承载力与低延性-高承载力的选择

在高烈度区的结构和较高的钢框架结构设计中，选择高延性-低承载力或低延性-高承载力的抗震设计思路是性能化设计的核心思想，旨在有效提高结构的抗震能力。这两种设计思路在结构抗震性能上各有优势，根据具体情况进行选择。（1）高延性-低承载力的抗震设计思路：这种设计思路注重结构在地震发生时的变形能力，即高延性。通过增加结构的延性，使其能够在受到地震荷载时发生较大的变形而不坍塌。这种设计思路适用于需要在地震中具有较大变形能力、能够吸收地震能量的结构，从而减小结构的振动影响。高延性-低承载力的抗震设计其目的在于减小构件及建筑整体的刚度，从而使相连节点及建筑本身在符合使用安全要求的前提下具有较高的变形能力，通过高延展性消耗部分地震力，削弱地震破坏效应，进而使结构的损伤程度降低。

（2）低延性-高承载力的抗震设计思路：此设计思路与高延性-低承载力的抗震设计思路正好相反，其核心目的是提高构件及建筑整体的刚度，使建筑在地震影响下变形较小，主要靠自身刚度抵抗地震力，保证建筑整体的稳定。综上所述，高延性-低承载力的抗震设计其目的在于减小刚度，通过自身的变形协调消耗地震力，故构件尺寸相对较小，因此在地震作用下变形较大，对于钢结构厂房容易导致失稳，但整体相对较为经济。而低延性-高承载力的抗震设计其目的在于加大刚度，主要靠自身刚度抵抗地震力，故构件相对尺寸较大，造价较高，但优点在于变形较小。在实际工程中，具体选择高延性-低承载力还是低延性-高承载力的抗震设计思路，需要根据优缺点具体情况具体考虑，以更好地满足不同工程的实际需求，保障建筑物在地震中具备更优越的抗震性能^[3]。

（二）常规抗震设计与性能化设计的结合

在钢结构的抗震设计中，性能化设计是在常规抗震设计方法的基础上引入了另一种低延性的抗震设计途径，以满足不同烈度区的抗震设计需求。常规抗震设计通常关注结构的一定延性，处于中到高延性的范畴，而性能化设计则通过引入低延性的设计思路，使得结构在地震中具备更为灵活和多样化的抗震性能。常规抗震设计

着重考虑结构的一定延性，以确保结构在地震中具备一定的变形能力，能够吸收地震荷载的能量，从而减小结构的振动幅度，提高结构的抗震能力。这种设计思路主要用于对变形要求不大的建筑物以及地震烈度较低的区域。性能化设计就是根据不同的性能需求，采取相对应的设计方法。通常性能化目标是指小震弹性、中震弹性、中震不屈服、大震弹性、大震不屈服，根据实际情况选择对应的性能目标是性能化设计的核心，例如普通的门卫若采取大震弹性性能目的明显不符合实际情况，造成不必要的浪费。因此，常规抗震设计与性能化设计的结合为工程设计提供了更多的选择，使得钢结构在不同地理、气候和工程需求下都能够更好地发挥其抗震性能，为工程安全性提供了更多的保障^[4]。

（三）性能化设计的实施

性能化设计主要是对抗震承载力、构造的抗震等级及变形能力等方面做出相关要求，通过合理的方法和控制策略来确保结构在地震中表现出所需的性能。性能化设计的实现主要涵盖以下几点：（1）性能要求的分析：性能要求主要由构筑物的特殊性及使用功能决定，首先需针对构筑物的几何形状、材料特性、承载要求、使用功能等方面进行统筹考虑，通过综合分析从而确定对于此构筑物最为合适的性能要求。（2）塑性耗能区性能等级的选定：通过增加结构的延性，使其能够在受到地震荷载时发生较大的变形而不坍塌。这种设计思路适用于需要在地震中具有较大变形能力、能够吸收地震能量的结构，从而减小结构的振动影响。针对不同的塑性耗能区，采用不同的延性等级进行延性的控制。

（3）延性开展机构的控制：对于钢结构厂房，通常是通过构件的长细比、宽厚比及加劲肋来控制。（4）动态试验分析：对于有特殊需求或结构较为复杂的结构，还需利用动态试验的方式验证性能化设计的合理性。例如模拟动态地震情况下，分析性能化措施的有效性，评估结构形式是否合理安全，确保结构在实际地震中表现出优越的性能^[5]。

五、在实际工程中性能化设计的运用

（一）项目概况

本工程为污泥处置项目，项目实施将对污泥进行“减量化、资源化、无害化”处理，经处置后得到的产品为生物质颗粒。建筑工程主要包括：（1）建筑物：卸料稀释车间、脱水干化车间、水处理综合用房、吹脱风机房、生产管理用房、消防泵房、门卫。（2）构筑物：缓冲水池、压榨水池、污水处理池（含调节池、生化池、二沉池、中间水池、回用水池等）、生产水池和消防水池等。

（二）平面布置

本工程用地十分紧张，因而平面布置充分考虑了空间上的利用，采用合建、叠建等方式进行布置。具体布置情况如下：厂区入口位于东北侧，门口设置门卫室，方便进出管理。进厂右侧主要为卸料稀释车间，外运污泥通过汽车衡计量后进入该车间卸料，车间前方布置有大型回车场，便于车辆卸料。污水处理构筑物位于厂区东南侧，其中水处理综合用房架空布置在生化池顶部，架空层下部保留了足够空间用于生化池巡检和检修，在有限的空间内，实现了功能的最大化。污水处理池体临河侧，可用池体作用挡墙，节省空间和投资。污水处理区靠近厂外污水管接管点，排水方便。生物除臭装置和冷却塔设置安装于卸料稀释车间和水处理综合用房顶部。厂区西南侧为脱水干化车间，成品料仓位于车间西侧，道路尽头设置了回车场，装载完的车辆通过汽车衡称重后驶出厂区。生产辅助用房位于脱水干化车间南侧，靠近车间，便于工作人员对车间的运行、维护。

（三）脱水干化车间的抗震性能化设计

上述可知，本项目用地十分紧张，故将诸多功能区设置在脱水干化车间厂房内。根据功能需求，此建筑物变形要求更为严格，且安全性相较于一般厂房更高。另一方面由于此建筑物布置条件受限，只能布置为单跨结构形式，单跨形式的建筑物更不利于抗震安全。综上所述，根据性能需求及抗震安全性对此钢结构厂房采取对应的性能化设计，此建筑通过抗震缝划分为三部分，以下仅选取建筑中间部分进行分析讨论。

本建筑物高度约为20.55m，结构形式为钢框架结构，建筑层数为三层，第一层为脱水干化工艺车间，第二层为配电间，第三层为会议室及参观廊道，此建筑物结构形式为单跨形式，此布置形式不利于抗震安全。故本次设计通过以下三点进行抗震性能化设计：

（1）提高半度抗震设防烈度。原地址抗震设防烈度为7度，水平地震影响系数最大值为0.08，提高半度

后，水平地震影响系数最大值提高为0.12；

（2）控制钢梁应力比在0.8范围内；

（3）控制钢柱长细比在0.7范围内；

计算结果如图1、图2所示，由下图计算结果可知，经过抗震性能化设计，本构筑物在地震情况下具有较高的安全性，通过计算可得地震工况下的位移满足相关工艺需要。

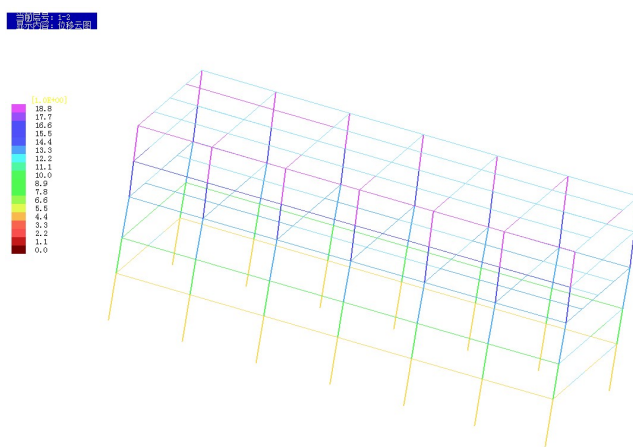


图2 脱水干化车间中间跨X向地震位移图

结束语

基于抗震性能化的设计思路方法对于钢结构厂房研究具有重要的意义。通过体系的合理布局、连接节点的设计以及综合运用各种抗震技术等手段，均可加强结构的抗震能力，提高厂房的抗震性能。在实际工程中，应根据不同的性能需求，采取相对应的设计方法，实现灵活应变、因地制宜的多种设计思路。通过全面考虑抗震性能化设计原则，建筑结构在地震荷载作用下表现出更强的抗力和适应性。抗震性能化设计为保障人员生命安全和财产安全提供了可靠的技术支持。

参考文献

[1] 李显峰. 基于抗震性能化的单层钢结构厂房设计思路对比[J]. 山西建筑, 2021, 47(24): 34-37.
 [2] 樊钦鑫, 孙亚琦, 邹翔等. 淮州新城国际会展中心复杂钢结构设计[J]. 建筑结构, 2021, 51(13): 45-51.
 [3] 罗晓霖, 赵亚新. 单层钢结构厂房板件宽厚比限值的选用分析[J]. 工业建筑, 2012, 42(S1): 258-261.
 [4] 张凯. 探究钢结构单层工业厂房结构设计[J]. 河南建材, 2022(12): 98-101.
 [5] 王旭. 超高层建筑结构抗震性能化设计研究[J]. 铁道建筑技术, 2021(6): 81-84, 95.

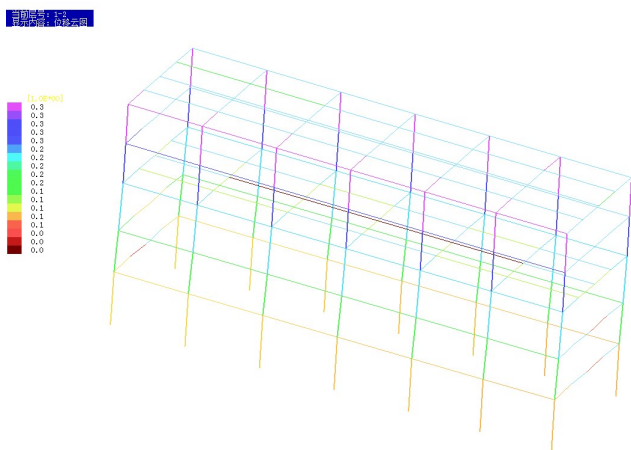


图1 脱水干化车间中间跨Y向地震位移图