

钢结构厂房设计要点及应注意事项分析

张雪松

上海中交水运设计研究有限公司 上海 200092

摘要: 钢结构设计理论和施工工艺的进步,使钢结构在经济社会快速发展的同时被广泛运用于工业厂房领域。本文结合有关结构理论、规范要求和自己的工作经历,分析了钢结构厂房设计的一些重点内容,提出了一些钢结构厂房设计的注意事项。

关键词: 钢结构; 厂房; 设计要点; 结构设计

引言:近年来,随着工业经济的快速进步带动各领域事业的蓬勃发展,工业厂房建设工程已成为这一时代背景下当代工程建设的重头戏之一。而且目前人们各方面的需求量越来越大,钢结构厂房的安全性、适用性、耐久性都对厂房质量提出了更高的要求,这才是保证后期安全生产的关键所在。

1 钢结构厂房的优点和缺点

钢结构厂房的优点主要表现在:(1)强度高:强度高、韧性好、延伸性好、抗震性能好的厂房所用钢材,使厂房结构稳固,可以承受较大的压力和拉力,保证了厂房的安全、稳定。(2)自重轻:钢结构厂房的自重相对于传统混凝土结构较轻,这使得需要运输吊装的厂房运输安装难度大大降低。(3)施工快:钢结构大部分构件和零部件可以在工厂预制化生产,现场用工少、工期短,施工效率高。(4)节能环保:钢铁属于可循环利用的材料,所以钢结构厂房的环保性较好。(5)设计灵活:钢结构厂房的结构形式多样,可以适应各种复杂的地形和空间需求,同时,钢材的高强度性能也使得厂房的结构形式更加灵活。

钢结构厂房的不足主要表现在:(1)耐腐蚀性能较差,钢材表面暴露在空气中时容易锈蚀,使钢材有效厚度变薄甚至断裂,降低结构承载能力和耐久性,因此必须进行防腐设计,应在钢结构表面涂防腐涂料;(2)耐火性能较差,对于有防火极限要求的钢结构房屋,则应涂防火涂料。

2 钢结构厂房设计要点

厂房钢结构设计,一是要对工程总体概况、施工单位需求、大的结构设计方向、大指标等进行清晰地梳理,并据此确定,需要全局上下共同把关;同时,对安全等级、使用年限、各种荷载、作用等内容都要进行明确的规定。这些荷载和作用设计的基础,需要根据规范进行合理的确定。

二是钢结构厂房设计,结构体系要选对、选准。对于单层钢结构厂房来说,厂房主要由横向和纵向两个方向的抗侧力体系组成^[1];具体来说,横向体系可采用门式刚架、排架、框架结构等,纵向体系可采用支撑结构、框架结构等。对于多层钢结构厂房而言,多层钢结构的常用体系一般都可用,例如框架结构、框架-支撑结构等。此外,还可以根据工程的实际情况,综合采用多种结构体系组成的复合结构体系,以提高结构的稳定性。

在确定了荷载和作用以及结构体系后,进行整体结构布置。要综合考虑结构布局,如结构形式,荷载条件等^[2]。

然后,根据所采用结构体系的特点,建立与计算假定相符的计算模型,使用PKPM、YJK、SAP2000、ETABS、MIDAS等专业计算软件,对结构施加相应的荷载,并建立符合规范要求的荷载组合,来计算和分析结构。根据计算和分析结果,需要对钢结构设计进行优化,以提高其稳定性和可靠性。优化措施可以包括调整梁柱截面尺寸、改变支撑形式、优化节点连接等。钢结构厂房的设计需要符合国标、行标有关要求,有地方标准的也应符合地方标准。钢结构厂房的设计还要考虑施工因素,也就是要保证施工阶段能够顺利完成,还要考虑到施工的可操作性,施工的误差,安装的先后顺序,以及结构的安全性。

主体结构计算完成后,还应进行次结构以及钢结构连接节点的设计。次结构的设计,包括屋檩、墙檩、拉条、隅撑等,一般可采用PKPM、YJK、TSSD工具箱等软件进行计算。钢结构连接节点的设计,是钢结构设计工作中必不可少的一个重要环节,可以采用PKPM、YJK、TSSD工具箱、理正工具箱等软件进行计算;对于节点形式比较复杂、非常重要的节点,必要时还应对节点进行有限元分析。

3 钢结构厂房设计注意事项

3.1 轻钢厂房和普钢厂房并没有非常严格的定义加以

区分,但在日常结构设计中,对于满足门式刚架规范^[1],即《门规》规定的单层钢结构厂房,均可按轻钢厂房设计(门式刚架结构)。满足《门规》规定的单层低矮房屋,由于其荷载较小,自重轻,结构质量小,地震力小,地震作用往往不是控制工况,往往都能满足大震弹性的要求,因此《门规》降低了对它的延性要求(截面宽厚比等级相当于最低的S5级),将《钢标》、《抗规》中的变形、长细比、板件宽厚比等要求降低了,因此,采用《门规》进行设计,钢结构截面尺寸、板厚等可以减小,能较好地降低结构用钢量和工程造价,既具有更好的经济性,又能保证厂房的承载力,以及保证正常使用。

3.2 门式刚架的跨度不宜过大,单跨跨度一般不宜超过48m,当跨度较大时,如果仍采用实腹式变截面H形门式刚架,则截面太大、用钢量高、经济性较差,因此,当厂房的单跨跨度超过48m时,建议采用平面桁架或空间桁架、网架、网壳等结构形式,对于超大跨度厂房,还可采用张弦结构等预应力钢结构的形式。

3.3 当厂房的结构体系采用门式刚架时,横向和纵向抗侧力体系是分开考虑的,横向为门式刚架体系,纵向为支撑体系,分别按二维结构计算。然而,在实际的工程设计中,有些工程由于使用功能的限制,其纵立面无法设置柱间支撑,此时原本应设置柱间支撑的开间,应将原来的纵向体系调整为框架,将原来的系杆调整为纵梁,并且端部与柱刚接;对于计算模型,如果横向、纵向分开均按二维计算,均会有荷载工况缺失,很难计算全面、清晰、准确,因此建议局部采用空间受力模型计算,建议将柱截面改为“H形+T形”组成的组合截面、十字形截面或箱形截面,按承受双向压弯荷载的构件计算;柱脚则应按刚接柱脚设计。

3.4 门式刚架的梁柱节点一般不需要验算“强柱弱梁”。当梁柱连接节点设计成端板连接,或设计成梁柱下翼缘圆弧过渡时(如图1所示),“强节点弱构件”的验算也可以不进行。但是当梁柱节点采用其他类型(栓焊型或全焊型)时,则应按《抗规》^[4]的要求验算“强节点弱构件”。

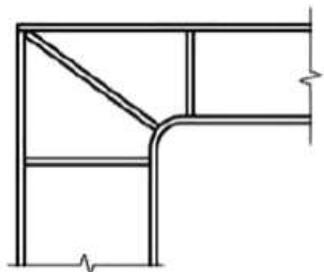


图1 梁柱节点(下翼缘圆弧过渡)

3.5 当厂房的结构体系采用门式刚架时,实腹式钢柱、斜梁的平面内、平面外计算长度的取值,对柱、梁的承载力计算尤其是构件稳定计算和长细比有着很大的影响,应合理取值。

对于实腹式斜梁、钢柱的平面内计算长度,一般可在PKPM中设置为“-1”,即由软件自动按照《门规》的规定进行计算、取值。而对于其平面外计算长度,则应按侧向支承点之间的距离取值。

对于在柱、梁与檩条之间设置隅撑的情况,很多人会按照旧版《门规》和以往经验设置为2倍檩条间距,即取为3000mm,但根据2015年版《门规》第7.1.6条条文说明^[1],可知这样取值并不严谨,也不是很合理,因此,个人认为,除非经过专门研究,并有充分的依据,否则不应直接将实腹式斜梁、钢柱的平面外计算长度按2倍檩条间距(例如3000mm)或2倍隅撑间距取值,而应按其侧向支承点间距取值,从结构安全角度来说,个人建议取为门式刚架刚性系杆或支撑的间距,这样对柱和梁的平面外稳定性更有保障。

3.6 门式刚架结构的檩条,可以设置成连续檩条或简支檩条,对于一般跨度,多采用实腹式檩条。对于连续檩条,一般可以采用直卷边或带斜卷边的Z形截面檩条,这样就更方便嵌套与搭接,而C形截面檩条,则不如Z形截面檩条那样便于搭接。对于简支檩条,一般可采用Z形截面、C形截面、槽钢(多用于天沟旁边)等,受力很大时也可采用薄壁方管等截面。

对于较大的跨度(9m~12m),尤其是当屋面荷载(恒载、活载或风荷载)较大时,可以采用高频焊接H形截面,能较好地满足强度、稳定和变形的要求。对于跨度更大的(12m以上),如采用常规的实腹式檩条,则檩条截面会非常大,用钢量太高,因此建议改为桁架式檩条。

对于网架结构来说,由于杆件都是按二力杆设计的,不能承担横向剪力和弯矩,荷载只能通过节点进行传递,因此一般都需要分别沿纵向、横向设置次檩条、主檩条,以便将屋面荷载传递给网架的球节点上。

3.7 钢结构厂房的关键节点——柱脚节点,在结构设计中必须注意。应把柱脚节点设计成满足计算假定的柱脚节点,使柱脚节点具有足够的承受力和较好的抗震性能,以及良好的传力功能,能够合理地将上部荷载传下去;同时应便于施工,并有较好的经济性。

对于门式刚架轻钢厂房无吊车时,柱脚一般设计成铰接柱脚;当厂房布置5吨以上的桥式吊车时,柱脚一般设计成刚接柱脚。而对于多、高层钢结构厂房,柱脚则

一般设计成刚接柱脚。

铰接柱脚一般设计成外露式，构造简单，施工方便。

刚接柱脚，一般可设计成外露式、埋入式、外包式、插入式柱脚。这几种刚接柱脚各有优缺点，可根据实际项目情况选用。外露式刚接柱脚，构造比较简单，但柱脚极限承载力 M_u 往往很难满足抗震设计规范要求（如果强行要求满足抗震设计规范要求，则须设计成超大尺寸的柱脚，而且锚栓直径、数量也不合常理地大），因此多用于单层厂房。埋入式柱脚，柱脚埋入深度较大，再加上柱脚锚栓锚固长度，导致基础埋深较大，基础造价较高，比较适用于高度超过50m的钢结构房

屋，不太适用于格构式柱脚。外包式柱脚，基础埋深较浅，比较适用于高度不超过50m的钢结构房屋，同时，外包式柱脚的外包混凝土高度较高，可能美观性不好，也可能影响周围设施的布置，因此不宜用在对美观和使用有要求的工程上。插入式柱脚，传力明确，抗震好，且柱脚构造比埋入式简单，基础埋置深度比埋入式浅，施工更简便，因此近年来在多层次钢结构上得到了更多的应用，对于实腹柱、格构柱都适用；但目前常用结构软件尚无插入式柱脚的计算，需要设计人员手算，可参照《钢结构设计手册（第四版）》^[5]计算。

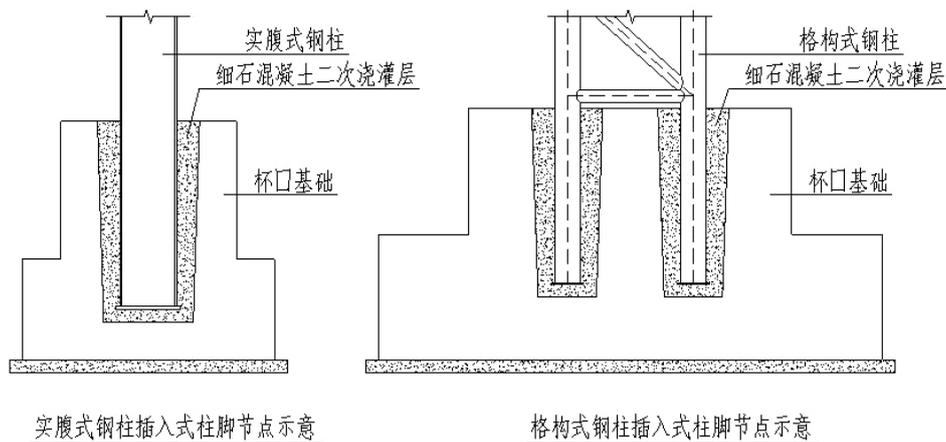


图2 插入式柱脚节点示意

3.8 耐腐蚀性较差是普通钢材的一个显著缺点，因此钢结构的防腐蚀设计是一个很重要的内容，但由于专业问题，往往容易被结构设计人员忽视。钢结构厂房防腐蚀设计，应按《工业建筑防腐蚀设计标准》^[6]设计。设计时应综合考虑工程性质、结构重要性、建设单位要求和规范要求，确定大气环境腐蚀作用类别（分为微、弱、中、强、很强等5个类别），以及防护层设计使用年限（分为使用年限低、中、长、超长等4个类别），再根据规范《附录C防腐蚀涂层配套》，选择与之相适应的涂层配套。

需要注意的是，有的项目关于防腐蚀涂层配套说明中会备注类似于“喷涂防火涂料的构件不涂面漆”的说明，这是根据以往的经验来编写的，但根据最新的《钢结构设计手册（第四版）》^[5]，其实上述写法并不太合理，因为防火涂层一般不具备防腐效能，不应将防火涂层作为防腐涂层使用，钢结构表面涂底漆、中间漆、防火涂料后，再涂上面漆，还是非常有必要的。

结束语

钢结构理论在过去几十年中得到了非常快速的发

展，技术的更新换代也是日新月异。作为一名结构设计人员，应时不我待，紧跟行业发展步伐，不断吸收新知识、新技术，全面理解和掌握有关设计标准、规范和规程的要求。

参考文献

- [1] 钢结构设计标准:GB 50017-2017[S].中国工业出版社,2018.
- [2] 刘树华.浅析某钢结构厂房设计[J].城市建筑,2014(6):54-55.
- [3] 门式刚架轻型房屋钢结构技术规范:GB 51022-2015[S].中国工业出版社,2016.
- [4] 建筑抗震设计规范:GB 50011-2010(2016年版)[S].中国工业出版社,2016.
- [5] 钢结构设计手册(第四版)[M].中国工业出版社,2019.
- [6] 工业建筑防腐蚀设计标准:GB 50046-2018[S].中国计划出版社,2018.