

工业建筑结构设计分析

常敏

(浙江中南建设集团有限公司, 浙江 杭州 310051)

摘要:随着我国工业建筑水平的不断发展,结构设计要求越来越高。当前,工业建筑结构设计依然存在不少问题,如何在满足设计要求和规范标准的基础上提高工程建设的可靠性、有效性、科学性和安全性,是相关从业者需要认真思考的问题。在工业建筑设计中,主要包括生产装置、库房、水池构筑物、厂区办公用房等设计,在结构设计时,应针对不同建(构)筑物的功能要求,选择合适的结构设计方案。基于此,本文以结构设计为主线,分析了工业建筑结构的要点,指引结构设计师进行工业建筑结构设计,达到经济合理、安全适用、技术先进的目标。

关键词:工业建筑;结构设计;安全适用
中图分类号:TU27 **文献标志码:**A



工业建筑有与普通建筑不同的特征,如工业建筑的荷载要求更大,建筑工艺更复杂,在工业厂房中大多数会运用到起重机械荷载,厂房内旋转器械的运作也会产生很大噪声等。因此,在进行工业建筑结构设计时,需要考虑多方面因素,进行合理设计,使工业建筑结构更加合理,实现对工业建筑结构设计的优化。

1 工业建筑结构设计特点

随着我国工业经济的快速发展,工业建筑结构的设计迎来了新的发展时代,同时对结构设计师提出了更高的挑战。相对于民用建筑的结构设计而言,工业建筑结构设计有复杂性、不规则性、设备繁多、荷载类型多样性的特点。针对不同工业产品,其生产工艺流程各不相同,为保证产品的顺利生产,装置厂房、库房必须满足生产工艺需求。因装置厂房内生产设备繁多,各设备需要一定的操作平台,设备之间通过工艺管道进行物质间的混合反应,结构设计时,要对工艺生产有一定的了解,特别是设备及管道的布置。不同的功能建筑及设备可能存在相应的现行规范要求,例如《石油化工压缩机基础设计规范》《化工设备基础设计规定》《石油化工落地式离心泵基础设计规范》《化学工业建(构)筑物抗震设防标准》等。工业建筑越来越倾向大型复杂化,要求结构设计师保持清晰的设计思路,采用合理的结构模型,进行精确细致计算,采取有效的构造措施。以上这些是结构设计

必不可少的因素。只要摸清原理,明了概念,抓住每一个重要环节,我们的设计就会少走弯路,我们的设计成品也会更趋完善。

2 工业建筑钢结构设计要点

在工业建筑结构设计中,应根据工艺及实际情况合理选择结构方案、构造和措施,同时结构构件在运输、安装和使用过程中的稳定性、刚度和强度的要求必须考虑,并应满足相关规范对钢结构防火、防腐蚀的要求。钢结构的制作、运输、安装、维护是结构设计需要考虑的因素,钢结构受力应简单明确,减少焊缝应力集中。钢结构在满足工艺和建筑专业的前提下,应全面考虑其合理性、材料供应、环境条件、节约投资和资源、制作和安装便利性等因素。钢结构作为一种工业建筑常见的结构形式,相对于钢筋混凝土结构而言,其应用优势有以下几点:(1)钢结构自重轻。相对于传统的钢筋混凝土结构来说,钢结构自重轻,可以减小基础底面面积,同时提高钢结构建筑物的整体稳定性,可控制地基沉降、下陷等工业事故。基于钢结构自重轻的特点,其结构体系具有更强的抗震性(因质量小,地震作用效应小,结构破坏的可能性降低)。(2)施工效率得以提升。传统的混凝土结构施工时,需要设置模板等,待混凝土达到一定强度才可以拆除模板。钢结构建筑不涉及混凝土的凝固时间,钢结构强度高,现场可实现快速安装,且钢结构空间占用率低,可提高工业建筑生产效率,避免各种管道及设备的碰撞。钢结构设计的高效性对业主而

言,可以实现早日建设完工,就能提前实现工业产品的生产,对业主是很大的利好。所以,钢结构设计在工业建筑中应用广泛。(3)在钢结构设计过程中,防火设计必不可少。钢结构自身不耐热,且工业建筑生产过程中的许多物质都具有易燃性。一般情况下,超过一定温度后,钢结构构件的强度就会明显降低,因此温度环境对钢结构的承载力影响较大,故钢结构防火设计非常重要。

3 钢筋混凝土水池结构设计要点

钢筋混凝土水池结构形式按埋置情况分为地下式、半地下式、地面式和架空式。①地下式:池顶标高位于地面以下,或高出地面不超过300 mm。②半地下式:池壁高度一半或一半以上位于地面以下。③地面式:池壁高度一半以上位于地面以上。④架空式:池底板位于地面以上,用柱基或条基架空水池。水池基本设计方案包括材料要求、强度计算、地基基础方案、构件厚度、设缝方案及抗浮方案等。

(1)材料要求。根据水池使用的环境情况,确定混凝土等级、抗冻等级(F150、F200)、抗渗等级(P6、P8)、外加剂(膨胀剂、抗裂纤维、防水剂)的添加、防腐要求等。(2)强度计算。①壁板:根据水池类型(深池或浅池)及壁板边界情况和尺寸关系判断是单向板还是双向板,再根据板的类型查表计算。单向板要注意计算角隅弯矩,角隅钢筋的配置长度也是计算而定的。②底板:根据每一区格池底的平面尺寸的长宽比,确定其为单向受力板还是双向受力板。单向受力板,沿短向截取池底宽1 m,按单跨板或多跨连续板计算。双向受力板,沿底板 x 、 y 轴两个方向截取池底各宽1 m,分别按单跨板或多跨连续板计算。底板上的荷载 $P0$ 应沿 x 、 y 轴方向按 $P_x=yP0$ 、 $P_y=(1-y)P0$ 分配。其中 y 为分配系数,由计算手册查得。(3)地基基础方案。根据地勘报告,确定基础底板所在持力层的地基承载力、土质情况、抗浮设计水位,根据工艺条件计算荷载情况。(4)构件厚度。对于壁板,单向受力:1/10~1/20板高或板宽(深壁池取宽)。双向受力:1/20~1/30板高(壁板一般为等厚,当厚度 ≥ 500 mm时,宜做成变厚,外侧为垂直面,内侧为20:1~30:1的坡面)。对于底板:(1.2~1.5) h ,其中 h 为池壁厚度。当土质较好,取1.2倍池壁厚度;当土质一般,取1.5倍池壁厚度。(5)设缝方案。由于水池设缝后整体性差,抗震性能较差,在水平力(地震作用)下,分缝处因互相碰撞而导致破坏,橡胶止水带处容易因施工因素导致漏水,所以

在进行结构设计时,尽可能采用无缝设计。当无法避免而需要设置伸缩缝时,需要考虑上部结构、基础和地基等因素。针对地下水位较高或软弱地基,底板不宜设置伸缩缝;针对水池上部结构,应尽量确保伸缩缝两侧的结构体系受力相近,以防变形不协调导致止水带的破裂。伸缩缝宽度一般为20 mm,当温度区段的长度 ≥ 30 m时,应适当加宽;沉降缝应 ≥ 30 mm。

(6)抗浮方案。主要有自重抗浮、压重抗浮、基底配重抗浮、打抗拔桩抗浮或打锚杆抗浮等方法。应根据工程所在地的具体情况,做到就地取材,因地制宜,尽量符合当地的习惯做法,从而确保工程质量。另外,为了实现安全、经济、便于施工的目的,一般采取几种不同的措施达到抗浮设计的目的。(7)构造要求。对于现浇钢筋混凝土水池的底板、壁板和中间隔板的厚度,一般不宜 < 250 mm;对于顶板的厚度,一般宜 ≥ 150 mm;当钢筋混凝土水池底板采用条基时,中间部位底板厚度宜 ≥ 150 mm;当顶板采用梁板式结构时,混凝土板的厚度不宜 < 120 mm。对一般钢筋混凝土水池裂缝的分析,裂缝一般都是从顶部到底部,裂缝宽度由大到小,并且从水池池壁外侧开裂,随着裂缝的逐渐发展,裂缝由外到内形成通缝。从宏观上分析其原因,可能是池壁底端与底板设置加腋,浇筑在一起时有约束力,且刚度大,而水池顶部相对于底部而言,约束力较小,变形较大。(8)抗裂计算。水池抗裂计算非常重要,采用公式计算是最直接的方法。一般根据设计手册归纳的表格,依据强度计算的弯矩设计值及最大裂缝宽度允许值,选取合理的配筋面积,均可满足抗裂要求。

4 工业建筑结构预埋件的选取

(1)轴心受拉预埋件用于全部锚筋承受轴心拉力的地方,例如单层或者多层工业厂房中,吊车梁上翼缘与混凝土柱子连接处的预埋件,混凝土梁(板)下部需要悬挂工艺管道或与吊杆连接处的预埋件,室外管道三角钢支架与混凝土连接处等。

(2)受剪预埋件:用于全部或部分锚筋承受纯剪的预埋件,可分为带抗剪钢板和不带抗剪钢板两类,例如在梁侧、柱侧受剪预埋件,与煤斗等连接的预埋件等。

(3)拉弯剪预埋件:在实际工程中,该类预埋件应用比较广泛,例如:①普通玻璃幕墙铝合金龙骨、管道防晃动支架、吊挂风机与结构连接处的预埋件,受到拉力和剪力,属于拉剪预埋件;②预埋件受到一个偏心拉力,因拉力作用产生弯矩,属于拉弯预埋件,如雨篷拉杆或其他拉索连接处的预埋件;③连接钢平台、钢牛腿的预埋件等。

(4) 压弯剪预埋件：主要用于钢筋混凝土柱顶和牛腿面，柱顶处连接屋架、牛腿面起重机梁、托架等承受压弯剪的地方。压弯剪预埋件根据受力情况可分为压剪和压弯剪预埋件。压剪和压弯剪预埋件根据需要可分为带抗剪钢板和不带抗剪钢板两类，带抗剪钢板预埋件通常主要用于地震区剪力较大且有柱间支撑的柱子上。

(5) 构造预埋件：主要适用于受力很小处，用于连接较轻的设备支腿或者管道支墩顶部预埋件。

(6) 吊筋预埋件：主要用于梁上悬挂重物（如工业吊挂管道等）的地方，混凝土梁底与吊车梁连接处等。

5 工业建筑结构防腐蚀设计

在腐蚀条件下，工业建筑结构设计应结合地勘报告、水土结构构件腐蚀性、工业产品及生产过程中的介质分析腐蚀等级。结构设计时尽可能减少构件的棱角和外表面积，为避免水和腐蚀性介质在结构表面的积聚，与相关专业人员沟通协调，采取方法使其迅速排除或者收集。例如，构件表面平整以及杆件节点的有效设计，钢结构坡度设置合理，利于雨水、灰尘和腐蚀性介质的排除。

(1) 针对混凝土结构，通过试验及工程经验分析，混凝土的受拉部位比受压部分严重。从耐腐蚀性角度出发，普通钢筋混凝土构件比预应力混凝土构件弱，原因是预应力混凝土构件具有抗渗性强、混凝土强度高和抗裂缝性能好的优点，结构构件的腐蚀过程一般是由构件外部向内部进行的。对于混凝土结构抗腐蚀性而言，水胶比是混凝土构件很重要的参数。水胶比和胶材用量对混凝土密实度起控制作用，混凝土密实度决定混凝土的抗渗性能，混凝土的抗渗性能对腐蚀速度具有重要的影响^[1]。

(2) 针对钢结构，截面的面积与周长之比越大，则抗腐蚀性能越小。特别对于门式轻型钢屋架檩条、薄壁型钢，由于型材板件较薄，腐蚀性对承载力的影响较大。对于格构式结构杆件，其特点为杆件截面较小，缀板、缀条表面积大，不利于防腐。所以结构设计遇腐蚀介质环境时，应尽量避免采用格构式结构杆件。为保证钢结构构件的耐久性，杆件截面厚度必须满足最低厚度要求，太薄的构件一旦腐蚀便很快丧失承载力^[2]。

6 工业建筑结构设计常见问题及处理措施

(1) 模型计算问题及解决措施：①工业建筑屋面板未考虑爆炸冲击荷载时，采取爆炸冲击荷载按 19 kN/m^2 输入板面等效均布活荷载，同时计算时不考虑分项系数措施；②工业建筑屋面面积较大，建筑找坡

自重大，采取坡度为3%的结构找坡，减少建筑自重措施；③格栅板次梁间距较大，采取依平台荷载大小及格栅板类型使用情况，调整次梁间距措施；④蒸汽管架次梁间距4500 mm，蒸汽管直径500 mm，根据挠度跨距可以达到9 m，采取取消主梁及次梁的措施。⑤结构重要性系数有误，乙类抗震设防，模型结构重要性系数1.1。

(2) 图面表达问题及解决措施：①柱间支撑、屋面支撑图集选用有误，采取按带吊车的支撑最新版图集选用措施；②立面图中A轴和C轴尺寸同标高不合，采取根据吊车梁上部净空要求尺寸、轨道梁高等反推牛腿标高措施。③设备基础平面布置图与基础大样图不符，采取经工艺条件自核，工艺会签措施；④绘图细节考虑不全面，钢结构加工时发现碰撞，采取调整梯梁，并增加详细标注尺寸，避开梯梁与框架梁重叠措施。

(3) 现场问题及解决措施：①交叉柱间支撑与设备管道碰撞，采取调整柱间支撑布置形式，避开安装管道措施；②上游专业未考虑设备检修吊装空间，设备无法检修，采取调整梁格并取消局部组合楼板，改为花纹板、活动梁等措施；③现场反馈厂房间距与实际不符，雨篷伸入原有屋面，采取新老建筑衔接时，不仅考虑基础的避让，还需考虑上部空间的影响措施^[3]。

7 结束语

综上所述，本文以工业建筑结构设计为主线，分析了工业建筑钢结构设计要点、钢筋混凝土水池结构设计要点、工业建筑结构预埋件的选取以及工业建筑结构防腐蚀设计，并结合工业建筑结构设计常见问题提出解决措施。我国工业建筑结构设计具有大型、复杂、快速的特点，尽管发展历史悠久，技术较成熟，但与发达国家相比起步较晚，工业建筑结构设计技术水平也与发达国家存在一定的差距。因此，深入探讨工业建筑结构设计仍然非常重要。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部.混凝土结构设计规范：GB 50010—2010（2015年版）[S].北京：中国建筑工业出版社，2016.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.工业建筑防腐蚀设计标准：GB/T 50046—2018[S].北京：中国计划出版社，2018.
- [3] 吴明亮.工业建筑结构设计分析[J].广东建材，2023，39（5）：52-55.