

工业设备基础结构与地基处理技术研究

崔富强 张伟峰

陕西永安工程设计咨询有限公司 陕西 西安 710000

摘要：工业设备基础结构与地基处理技术是工业工程建设中的关键环节，其设计质量与处理效果直接关系到工业设备的运行稳定性、安全性以及使用寿命。本文深入探讨了工业设备基础结构设计的基本原则、常见类型及其设计要点，同时对地基处理技术进行了详细分析。通过实际工程案例，阐述了合理的基础结构与地基处理技术选择对工业项目成功实施的重要性，旨在为相关工程技术人员提供理论参考与实践指导，推动工业工程建设技术的不断发展。

关键词：工业设备；基础结构设计；地基处理技术

1 引言

在工业领域，各类大型、重型设备广泛应用于生产制造过程。这些工业设备在运行过程中会产生巨大的动力荷载、静力荷载以及温度变化等因素引起的附加应力。为了确保工业设备能够安全、稳定、高效地运行，工业设备基础结构与地基处理技术显得尤为重要。良好的基础结构设计能够合理地将设备荷载传递至地基，保证设备在各种工况下的精度和稳定性；而有效的地基处理技术则能够改善地基的物理力学性能，提高地基的承载能力，减少地基的不均匀沉降，避免因地基问题导致的设备故障和生产事故。因此，深入研究工业设备基础结构与地基处理技术，对于提高工业工程建设质量、保障工业生产安全、促进工业经济的可持续发展具有不可忽视的重要意义。

2 工业设备基础结构设计

2.1 基础结构设计基本原则

(1) 满足设备荷载要求：工业设备基础的首要任务是承受设备运行过程中产生的各种荷载，包括设备自重、活荷载、动力荷载等。设计时必须准确计算荷载大小、作用位置及变化规律，确保基础具有足够的强度和刚度，能够将荷载安全、可靠地传递至地基，避免基础出现过大的变形或破坏。

(2) 控制基础变形：对于一些对精度要求较高的工业设备，如精密机床、电子设备等，基础的变形必须严格控制允许范围内。过大的变形会影响设备的正常运行，降低产品质量，甚至导致设备损坏^[1]。因此，基础结构设计应充分考虑地基的变形特性，通过合理选择基础形式、尺寸和配筋等措施，有效控制基础的沉降、倾斜和水平位移等变形指标。

(3) 适应设备振动特性：许多工业设备在运行过程

中会产生振动，如旋转机械、冲击设备等。基础结构应具备良好的减振性能，能够吸收和衰减设备振动产生的能量，减少振动对设备本身以及周围环境的影响。这要求在设计时充分考虑设备的振动频率、振幅等参数，合理确定基础的刚度和阻尼特性，必要时可采取设置减振垫、隔振沟等减振措施。

(4) 考虑施工条件与经济性：基础结构设计不仅要满足技术要求，还应充分考虑施工条件和工程经济性。设计方案应便于施工操作，尽量减少施工难度和工期，同时要合理利用材料，降低工程造价。在满足设备正常运行的前提下，通过优化设计，实现技术先进性与经济合理性的有机统一。

2.2 常见工业设备基础类型及其设计要点

2.2.1 扩展基础

扩展基础是将上部结构荷载通过台阶逐步扩散传递给地基的基础形式，常见的有墙下条形基础和柱下独立基础。其具有结构简单、施工方便、造价较低等优点，适用于上部结构荷载较小、地基承载力相对较高的情况。设计时需根据设备荷载和地基承载力确定基础的底面尺寸，确保地基压力不超过地基允许承载力。同时，要合理设计基础的高度和配筋，以满足基础的抗剪、抗弯等强度要求。对于柱下独立基础，还应注意基础顶面和底面的配筋构造，防止基础出现冲切破坏。

2.2.2 筏板基础

筏板基础是将整个建筑物或设备的底板连成一片，形成一块整浇的钢筋混凝土板，使建筑物的荷载均匀地传递给地基。筏板基础具有整体性好、刚度大、能调整地基不均匀沉降等优点，适用于上部结构荷载较大、地基承载力不均匀或存在软弱下卧层的情况。筏板基础的设计关键在于合理确定筏板的厚度、配筋以及基础的埋

置深度。筏板厚度应根据地基反力、基础内力计算结果以及构造要求确定,一般不宜小于设备净距的1/10且不小于500mm。配筋设计需满足基础在不同工况下的受弯、受剪和受冲切承载力要求。此外,还应考虑筏板基础的抗浮问题,根据地下水位情况采取相应的抗浮措施。

2.2.3 箱形基础

箱形基础是由顶板、底板、侧板及一定数量的内隔墙构成的整体刚度很好的单层或多层钢筋混凝土箱体结构。它具有较大的空间刚度和整体性,能够有效调整地基不均匀沉降,适用于高层建筑、重型工业设备等对地基变形要求严格且荷载很大的工程。箱形基础设计较为复杂,需进行详细的内力分析和配筋计算。设计时要合理确定基础的平面尺寸、高度以及内隔墙的布置,以保证基础具有足够的刚度和强度^[2]。同时,要考虑地下水对基础的作用,做好防水、排水设计。在施工过程中,还需严格控制混凝土的浇筑质量和养护条件,确保基础的整体性能。

2.2.4 桩基础

桩基础是由基桩和连接于桩顶的承台共同组成的基础形式。当天然地基浅层土质不良,无法满足设备对地基承载力和变形的要求时,常采用桩基础将上部荷载传递至较深的良好土层或岩层。桩基础具有承载力高、沉降小、抗震性能好等优点,适用于各种地质条件和不同规模的工业设备基础。桩基础设计首先要根据工程地质条件、设备荷载特点等因素选择合适的桩型,如预制桩、灌注桩等。然后进行单桩承载力计算和群桩基础设计,确定桩的数量、布置方式以及桩长等参数。在设计过程中,还需考虑桩与承台的连接构造,确保荷载能够有效地从承台传递至桩身。此外,对于承受水平荷载较大的桩基础,还需进行桩身抗弯、抗剪计算以及桩的水平承载力验算。

3 地基处理技术研究

3.1 地基处理目的

工业设备对地基的要求通常较高,而天然地基往往存在承载力不足、压缩性大、不均匀沉降等问题,无法满足工业设备基础的设计要求。因此,需要对地基进行处理,其主要目的包括:提高地基的承载能力,确保基础能够安全地承受设备荷载;减小地基的压缩性,控制地基的沉降量,避免因地基沉降过大导致设备倾斜、损坏等问题;改善地基的渗透性能,防止地基土因渗流作用而发生破坏;提高地基的抗震性能,增强地基在地震作用下的稳定性。

3.2 常见地基处理技术的适用条件与施工要点

3.2.1 换填垫层法

适用于浅层软弱地基及不均匀地基的处理,处理深度一般控制在3m以内。当地基土的承载力特征值小于80kPa,压缩模量小于4MPa,且存在软弱下卧层或地基不均匀沉降较大时,可考虑采用换填垫层法。换填材料应满足设计要求的强度、压缩性和稳定性要求。换填前应清除基底上的草皮、垃圾、树根等杂物,平整场地。换填垫层的施工应分层铺填、分层压实,每层铺填厚度应根据压实机具和设计要求的压实系数确定,一般不宜超过300mm^[3]。施工过程中应严格控制换填材料的含水量,使其在最优含水量附近进行压实,以保证压实质量。

3.2.2 预压法

堆载预压法适用于处理各类软弱地基,尤其是厚度较大的饱和软粘土地基;真空预压法适用于处理均质粘性土地基及含薄层砂夹层的粘性土地基,对于软土层厚度小于4m的效果更佳。堆载预压法施工时,应分级逐渐加载,控制加载速率,避免地基发生剪切破坏。加载过程中应进行沉降观测,当沉降速率小于规定值时,方可进行下一级加载。真空预压法施工前,应铺设砂垫层,安装垂直排水通道(如塑料排水板),然后铺设密封膜,确保密封良好。抽真空过程中,应保持真空度的稳定,一般要求真空度不低于80kPa,预压时间应根据设计要求和沉降观测结果确定。

3.2.3 强夯法

适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与粘性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基。对于饱和度较高的粘性土地基,如淤泥和淤泥质土地基,直接采用强夯法处理效果较差,一般需结合其他方法进行处理。强夯施工前,应在现场进行试夯,以确定合适的夯击能、夯击次数、夯点间距、夯击遍数等施工参数。夯击时,应按照设计要求的夯点布置进行施工,一般采用梅花形或正方形布置。每遍夯击完成后,应用推土机将场地推平,测量场地高程,然后进行下一遍夯击。强夯施工过程中,应加强安全防护措施,设置明显的安全警示标志,防止飞石伤人。

3.2.4 振冲法

振冲密实法适用于处理砂土地基,可提高砂土的密实度和抗液化能力;振冲置换法适用于处理粘性土地基,通过在粘性土中形成碎石桩,与原地基土组成复合地基,提高地基的承载力和减少沉降。振冲施工前,应进行现场成桩试验,确定振冲器功率、留振时间、填料量等施工参数。振冲器就位后,应先开启供水泵,待振冲器下端喷水口出水后,再启动振冲器,并缓慢下沉至

设计深度^[4]。在成孔过程中,应控制下沉速度,保持振冲器垂直。制桩时,应分段填入碎石等填料,每次填料厚度不宜过大,通过振冲器的水平振动和加压水冲使填料密实,形成桩体。

3.2.5 水泥土搅拌法

适用于处理正常固结的淤泥与淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、粘性土以及无流动地下水的饱和松散砂土等地基。当地基土的天然含水量小于30% (黄土含水量小于25%)、大于70%或地下水的pH值小于4时不宜采用此法。施工前应根据设计要求进行工艺性试桩,确定搅拌机的提升速度、搅拌速度、水泥掺入量等施工参数。搅拌机预搅下沉时不宜采用冲水下沉,当遇到较硬土层下沉太慢时,可适量注水,但应考虑注水对桩身强度的影响。搅拌机提升至设计标高以上0.5m时,宜用慢速;当喷浆口即将出地面时,应停止提升,搅拌数秒,以保证桩头均匀密实。搅拌桩施工应连续进行,若因故停浆,应将搅拌头下沉至停浆点以下0.5m处,待恢复供浆时再喷浆搅拌提升。

3.2.6 高压喷射注浆法

适用于处理淤泥、淤泥质土、粘性土、粉土、砂土、人工填土和碎石土地基。对于硬粘性土地基,由于喷射的浆液难以切割和搅拌土体,处理效果相对较差,需适当提高喷射压力或采用复喷等工艺。施工前应进行成桩试验,确定喷射压力、提升速度、旋转速度等施工参数。钻孔过程中应控制钻孔垂直度偏差不得超过1%。喷射注浆时,应自下而上进行,注浆管分段提升的搭接长度不得小于100mm。在喷射注浆过程中,应随时观察冒浆情况,若冒浆量过大,可提高喷射压力或适当缩小喷嘴口径;若不冒浆或冒浆量过小,应查明原因,采取相应措施,如在地基中适当添加速凝剂或减小注浆量等。

4 工业设备基础结构设计与地基处理技术在实际工程中的应用

4.1 工程概况

某大型化工企业新建一套化工生产装置,其中包含多台大型反应釜、压缩机等关键设备。这些设备对基础的稳定性和变形控制要求极高,同时,场地地质条件复杂,表层为2—3m厚的杂填土,主要由建筑垃圾、生活垃圾等组成,结构松散,强度低;其下为5—6m厚的淤泥质粘土,含水量高,压缩性大,承载力特征值仅为60kPa;再往下为粉质粘土层,承载力相对较高,但埋深较大。

4.2 基础结构设计方案

针对该工程设备的特点和地质条件,经过综合分析比较,决定采用筏板基础与桩基础相结合的基础形式。

对于一些对变形较为敏感的大型反应釜,采用桩筏基础,以桩基础将设备荷载传递至较深的粉质粘土层,减小地基沉降;对于压缩机等设备,由于其振动较大,在桩筏基础上设置减振垫,以减少设备振动对基础和地基的影响。在筏板基础设计方面,根据设备荷载和地基承载力计算,确定筏板厚度为1.2m,采用双层双向配筋,钢筋直径为20mm,间距为150mm。为提高筏板基础的抗裂性能,在筏板中设置温度收缩钢筋。桩基础选用钻孔灌注桩,桩径为800mm,桩长根据地质情况和设备荷载确定,一般为15—20m。桩身混凝土强度等级为C30,主筋采用12根直径为25mm的HRB400级钢筋。

4.3 地基处理技术方案

考虑到场地表层杂填土和淤泥质粘土层的存在,为提高地基承载力和减少沉降,对基础底面以下一定范围内的软弱土层进行处理。对于桩筏基础区域,采用水泥土搅拌桩进行地基加固,水泥土搅拌桩直径为500mm,桩间距为1.2m,正方形布置,桩长进入淤泥质粘土层以下1m。水泥采用P.O42.5级普通硅酸盐水泥,水泥掺入比为15%。通过水泥土搅拌桩与桩基础共同作用,形成复合地基,提高地基的整体承载能力。对于一些局部浅层软弱地基区域,采用换填垫层法进行处理,将软弱土层挖除1.5m深,回填级配砂石,分层压实,压实系数不小于0.97。

结语

工业设备基础结构设计与地基处理技术是工业工程建设的核心环节。合理设计基础结构可保障设备在复杂工况下稳定运行,有效地基处理是发挥基础性能的关键。实际工程中,需综合设备特性、荷载及地质条件,科学选定结构形式与处理方法,并做好设计计算与施工监测。通过持续优化技术,可提升工程建设质量,为工业生产筑牢根基,推动行业技术进步与可持续发展。未来,随着新材、新工艺、新理念涌现,相关技术将不断创新以适应复杂工程需求。

参考文献

- [1]林振杨.某重型钢结构工业厂房基础设计[J].工程建设与设计,2023,(19):31-34.
- [2]黄小星.工业厂房工程中土建地基施工技术研究[J].新城建科技,2025,34(01):147-149.
- [3]蒋冲.工业建筑设计中软土地基处理方案的选型及应用[J].工程建设与设计,2023,(06):44-46.
- [4]李静.工业厂房地基基础施工技术与加固技术的研究实践[J].砖瓦,2022,(11):130-132.