

# 工业建筑设计中软土地基处理方案的选型及应用

郝春艳

胜帮科技股份有限公司 上海 201210

**摘要：**本文全面探讨了工业建筑设计中软土地基处理方案的选型与应用。分析了软土地基的工程特性，包括高压缩性、低强度、高含水量及流变性，及其对工业建筑的影响。详细介绍了换填法、排水固结法、复合地基法和桩基础法等主要处理方案，并提出基于工程地质条件、建筑结构要求和施工条件的选型方法。通过某金属加工厂房项目案例，展示了软土地基处理方案在实际工程中的应用效果，验证了所选方案的合理性和有效性。

**关键词：**工业建筑；软土地基；处理方案；选型

## 1 软土地基的工程特性

### 1.1 高压缩性

软土地基显著的工程特性之一是其高压缩性。由于软土中含有大量的细粒土（如粘土颗粒）和高比例的水，这些细粒土之间的空隙大且排列松散，导致土体在受到外力作用时极易产生压缩变形。在工程建设中，特别是大型工业建筑的基础施工中，软土地基的高压缩性会显著影响基础的稳定性和承载力。若未进行适当处理，地基沉降将不可避免，且沉降量可能随时间推移持续增加，对上部结构的安全性和使用功能构成严重威胁。

### 1.2 低强度

软土地基的另一个重要特性是低强度。这主要是由于软土中矿物成分主要为亲水性粘土矿物，颗粒间结合力弱，且受到高含水量和孔隙比的影响，整体强度较低。在荷载作用下，软土易发生剪切破坏，导致地基承载力不足。对于工业建筑而言，往往需要承受较大的设备荷载和动态荷载，低强度的软土地基难以满足这些要求，易引发地基失稳或结构破坏等问题。低强度的软土主要由松散的亲水粘土构成，其高水分和孔隙结构导致凝聚力弱，极易在外力下发生破坏，显著削弱了地基的承载能力，难以满足工业建筑的高强度荷载需求，易诱发安全隐患。

### 1.3 高含水量

软土中的水分含量远高于一般土壤，这些水分主要存在于土颗粒之间的孔隙中，形成连续的水膜或水层。高含水量不仅降低了土体的有效应力和强度，还增强了土体的压缩性和流动性，使得软土在受力时更易发生变形和流动。在工业建筑基础设计中，高含水量的软土地基需要特别关注，因为水分的存在会直接影响地基的承载能力和稳定性，增加工程风险<sup>[1]</sup>。

## 2 软土地基对工业建筑的影响

### 2.1 影响建筑稳定性

软土地基对工业建筑的最直接影响是降低其稳定性。由于软土具有高压缩性和低强度特性，当地基受到上部建筑荷载作用时，易发生显著的压缩变形。这种变形不仅会导致地基承载力降低，还可能使建筑物发生不均匀沉降或整体倾斜，从而严重影响建筑物的稳定性。对于大型工业建筑而言，其内部往往承载着重型设备和高耸结构，对地基的稳定性和承载力要求更高；软土地基问题若未得到妥善处理，将直接影响工业建筑的安全运行和使用寿命。

### 2.2 增加不均匀沉降风险

软土地基中的含水量、孔隙比和矿物成分等因素在空间上分布不均，导致地基的压缩性和承载力在水平方向上存在差异。这种差异在建筑物荷载作用下会进一步加剧，使得建筑物各部分产生不同程度的不均匀沉降。不均匀沉降会导致建筑物结构内部产生附加应力和变形，严重时可能引发墙体裂缝、结构破坏等问题。对于需要高精度控制和稳定性的工业建筑而言，不均匀沉降更是其设计和施工中必须严格控制的关键问题<sup>[2]</sup>。

## 3 工业建筑设计中软土地基处理方案的类型

### 3.1 换填法

换填法是工业建筑设计中处理软土地基的一种直接且有效的方法。该方法通过将软土层全部或部分挖除，然后回填以强度高、压缩性低、水稳定性好的材料（如砂、碎石、灰土等），以达到提高地基承载力、减小地基沉降的目的。换填法适用于软土层较薄或分布不均匀的情况，且换填材料易于获取和处理的场地。其优点在于施工简便快捷，能迅速改善地基条件，但其缺点在于换填材料成本较高，且需考虑换填后地基的均匀性和稳定性。

### 3.2 排水固结法

排水固结法是一种通过加速软土排水固结过程来增

强其稳定性的地基处理方法。该方法通过在软土地基中设置排水系统（如砂井、塑料排水板等），并在其上施加预压荷载（如堆载预压、真空预压等），使地基土中的孔隙水排出，土体逐渐固结，从而提高地基的强度和承载力。排水固结法适用于厚度较大的软土地基，其优点在于能有效降低地基的沉降量，提高地基的承载力和稳定性，但其施工周期相对较长，且需要投入一定的设备和成本。

### 3.3 复合地基法

复合地基法是通过在地基中设置增强体（如碎石桩、水泥土桩、CFG桩等），与原有地基土形成复合地基，共同承担上部荷载的一种地基处理方法。增强体通过提高地基的承载力和模量，有效限制地基的压缩变形，从而改善地基的整体性能。复合地基法适用于各种软土地基，特别是深厚软土地区。其优点在于既能充分利用地基土的承载力，又能发挥增强体的作用，提高地基的整体稳定性和承载力。然而，复合地基法的设计和施工相对复杂，需要综合考虑地基土的性质、增强体的类型、布置方式和施工工艺等因素。

### 3.4 桩基础法

桩基础法是通过将桩体打入或压入软土地基中，以桩体作为上部结构的主要承重构件，将荷载传递到深部稳定的土层中的一种地基处理方法。桩基础法适用于地基承载力极低、变形控制要求严格的工业建筑。根据桩体材料的不同，桩基础可分为预制桩（如钢桩、混凝土桩）和灌注桩等<sup>[3]</sup>。桩基础法的优点在于承载能力强、沉降量小、稳定性好，能较好地适应各种复杂的地质条件；桩基础法的施工成本较高，且对施工工艺和设备的要求也较高，需要综合考虑技术可行性、经济合理性和施工便利性等因素。

## 4 工业建筑设计中软土地基处理方案的选型方法

### 4.1 基于工程地质条件的选型方法

工程地质条件是确定软土地基处理方案的基础，它直接关系到地基处理的可行性和有效性。不同的软土特性（如含水率、压缩性、强度等）及地层分布情况需要不同的处理策略；全面分析和解读地质勘察报告，包括土层的分布、厚度、物理力学性质以及地下水位等信息。这些信息为理解地基承载力、变形特性及潜在的地质风险提供了关键依据；对于地质条件复杂的区域，如软土层厚度大、土层分布不均或含有特殊土（如淤泥质土、有机质土等），需特别注意其潜在的地基处理问题。这类地区往往需要采取更为复杂和综合的处理措施，如联合使用多种处理方案以达到预期效果；根据建

筑物的荷载特点和变形控制要求，分析地基所需的承载力和允许的最大变形量。在选型时，应选择能够满足这些要求的处理方案，以确保地基的稳定性和安全性。

### 4.2 考虑建筑结构要求的选型方法

#### 4.2.1 分析建筑荷载特性

不同建筑物的荷载特性各异，包括恒载、活载以及可能存在的特殊荷载（如风荷载、地震荷载等）。在处理软土地基时，应充分考虑这些荷载对地基的影响，选择合适的处理方案以增强地基的承载力和稳定性。

#### 4.2.2 关注建筑的变形控制要求

对于一些对变形控制要求严格的建筑物（如精密制造车间、高科技研发中心等），需选择能够有效控制地基沉降和变形的处理方案。这类方案往往更加复杂和昂贵，但其对确保建筑物正常使用和维护建筑物精度具有重要意义。

#### 4.2.3 考虑建筑结构的耐久性

建筑物的耐久性也是选型时需考虑的因素之一。在处理软土地基时，应选择对建筑物结构影响小、耐久性好的处理方案，以延长建筑物的使用寿命和减少维护成本。

### 4.3 结合施工条件的选型方法

施工条件是选择软土地基处理方案时必须考虑的实际因素。包括施工现场的地理位置、环境条件、工期要求、施工技术以及成本控制等方面；在选择处理方案时，需充分考虑施工现场的实际情况和施工队伍的技术水平。一些处理方案可能技术难度高、施工周期长且需要特殊的施工设备和技术支持，这在一些偏远或资源匮乏的地区可能难以实现；不同的处理方案所需的施工周期和成本差异较大。在选择方案时，应根据工程项目的进度要求和成本控制目标进行合理权衡<sup>[4]</sup>。一方面，要避免因处理方案不当导致的施工周期延长和成本增加；另一方面，也要确保所选方案在控制成本的同时满足地基处理的质量和性能要求；随着社会对环保和安全问题的关注度不断提高，在选择软土地基处理方案时也应充分考虑这些因素。优先选择那些环保性能好、施工安全风险低的方案，以减轻对环境的影响和保护施工人员的安全。

## 5 软土地基处理方案在工业建筑中的应用案例

### 5.1 项目背景

某沿海工业区计划建设一座大型金属加工厂房，占地面积约3万平方米。该厂房设计为三层结构，高度达到15米。由于其主要用于金属加工，预计将承载大量重型机械设备及生产线，对地基的承载力和稳定性要求极高。然而，经过详细的地质勘查发现，该项目地基主要由深厚的淤泥质软土构成。这种软土具有高含水率，经

检测其平均含水率达到50%；高压缩性，压缩系数高达2.0；以及低强度的特点，天然地基承载力仅为60kPa，远远无法满足厂房的荷载需求。若直接在这样的软土地基上进行建设，必然会导致严重的工程问题，因此软土地基处理成为项目成功的关键。

### 5.2 地质条件及设计要求

地质勘查结果显示，地基土层厚度大，最深处达到25米。其中软土层的压缩性极高，在自然状态下，每增加单位压力，土体的压缩变形量可达0.5mm。而且天然承载力很低，无法承受厂房的巨大荷载。设计要求地基处理后的承载力需达到200kPa以上。同时，为了保证厂房结构的稳定性和生产设备的正常运行，需严格控制沉降量在允许范围内。经计算，累计沉降量不得超过50毫米；项目还面临着工期紧的挑战，要求在12个月内完成地基处理和厂房主体结构建设。同时，由于该工业区对环保要求高，在地基处理过程中需严格控制噪声、粉尘等污染。

### 5.3 处理方案设计与实施过程

针对项目特点，项目团队经过深入研究和论证，提出了以桩基加固为主、排水固结为辅的综合处理方案。

(1) 桩基设计：选用高强度预应力混凝土管桩（PHC桩），桩径500mm。为了确保桩基础的稳定性和承载力，根据详细的地质勘查数据和上部结构荷载计算，确定桩长根据不同区域的土层情况分别为22米、25米和28米。通过精确计算，确定桩间距为3米，并采用梅花形布桩方式，确保桩基础整体承载力和稳定性满足要求。经计算，单桩竖向承载力特征值达到1500kN，桩基础整体可承受的最大荷载为50000kN。

(2) 排水固结系统：在桩间设置砂井和塑料排水板，形成水平排水通道。砂井直径为500mm，间距为2米。塑料排水板厚度为4mm，宽度为100mm。同时，施加预压荷载，采用堆载预压的方式，堆载高度为5米，加速地基土的排水固结过程，减小地基的压缩变形。经监测，在预压荷载作用下，地基土的固结度在6个月内达到了80%。

(3) 施工实施：严格按照施工方案进行桩基施工，采用专业的打桩设备，确保桩身垂直度偏差不超过0.5度、打入深度误差控制在0.2米以内和承载力达到设计要求。同时，同步进行排水固结系统的布置与预压加载，

加强施工过程中的沉降与变形监测。在施工现场设置多个监测点，采用高精度测量仪器，实时监测地基的沉降和变形情况。根据监测数据，及时调整施工方案，确保施工安全和质量。例如，当发现某区域沉降量超过预警值时，立即采取增加预压荷载或调整桩间距等措施。

### 5.4 处理效果分析

经过处理后的地基，承载力显著提升，通过现场静载试验，测得实际承载力达到了220kPa，超过了设计要求的200kPa，为重型机械设备的安装和运行提供了坚实的基础。沉降控制效果显著，厂房主体结构完工后的累计沉降量仅为30毫米，远小于设计允许值。另外，综合处理方案虽然初期投资较大，但有效缩短了施工周期。原本预计需要12个月的地基处理和厂房建设，实际仅用10个月，提前完成了项目建设，为企业早日投产创造了条件<sup>[5]</sup>。同时，由于处理后的地基稳定性好，降低了后期维护成本。经估算，与传统处理方案相比，后期维护成本可降低30%。实现了经济效益与社会效益的双赢，为类似的工业建筑项目在软土地基上的建设提供了宝贵的经验。

### 结束语

软土地基处理是工业建筑设计中不可忽视的重要环节，直接关系到建筑的安全性、稳定性和耐久性。本文通过对软土地基处理方案的深入研究，为工业建筑设计中软土地基处理提供了科学依据和实践指导。未来，随着材料科学、施工技术及计算模拟技术的不断发展，软土地基处理技术将更加成熟和完善，为工业建筑的安全建设与可持续发展保驾护航。

### 参考文献

- [1]郭军.房屋建筑施工中的软土地基处理技术[J].居舍.2020.(36):28-29+34.
- [2]高洪堂.房屋建筑施工中的软土地基处理技术[J].中国新技术新产品.2020.(17):113-114.
- [3]邵国强.软土地基施工技术初探[J].建材与装饰.2020.(14):4-5.
- [4]王伟.高速公路软土地基长短桩加固与沉降分析[J].交通世界,2020,(31):41-42+58.
- [5]赵国堂.高速铁路无砟轨道软土地基沉降区深部转移的不平顺控制理论及应用[J].铁道学报,2019,41(02):97-104.