

软土地基建筑结构基础设计的难点与解法

文 / 纪忠旻 山东大卫国际建筑设计有限公司

钱政良 山东孚远建筑设计有限公司

摘要：随着城市化进程的加速，建筑工程不断向各类地质条件的区域拓展，软土地基在建筑场地中较为常见。软土地基具有含水量高、压缩性大、强度低等不良工程特性，给建筑结构基础设计带来诸多挑战。本文深入分析软土地基建筑结构基础设计中的难点，包括沉降控制、承载能力确定、稳定性问题等，并详细阐述针对这些难点的有效解决方法，旨在为软土地基上的建筑工程基础设计提供理论支持和实践指导，确保建筑结构的安全与稳定。

关键词：软土地基；建筑结构基础设计；难点

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.11.109

引言

在建筑工程领域，地基基础是整个建筑结构的重要支撑部分，其设计的合理性和可靠性直接关系到建筑的安全与正常使用。软土地基作为一种特殊的地基类型，广泛分布于沿海地区、河流湖泊周边以及一些冲淤积地带。由于软土地基本身的物理力学性质较差，在软土地基上进行建筑结构基础设计时，必须充分考虑其特性，妥善解决设计过程中遇到的各种难点问题，以保证建筑结构在整个使用周期内的稳定性和安全性。

一、软土地基的特性

（一）高含水量

软土的含水量普遍处于较高水平，通常介于30%~80%区间，部分特殊成因的软土，如滨海相、湖沼相沉积软土，其含水量甚至能够突破100%。这是因为软土多在水流缓慢、富水的沉积环境下形成，大量水分被包裹于土颗粒间隙之中。高含水量使得软土颗粒间被水充分填充，土颗粒间的连接主要依靠微弱的水膜力维系，结构松散，致使其在力学性质、物理状态等方面呈现出诸多不良特性，比如抗剪强度降低、压缩性增大等。

（二）大压缩性

软土的压缩性显著，压缩系数一般在 $0.5-1.5\text{MPa}^{-1}$ 之间，像淤泥质土、泥炭土等，其压缩系数可远超该范围。在建筑物荷载的持续作用下，软土地基中的孔隙水排出困难，土颗粒会发生重新排列并被压缩。这会导致建筑物产生较大的压缩变形，沉降量往往超出允许范围，影响建筑物的正常使用，严重时建筑物的结构安全也会受到威胁，如出现墙体开裂、整体倾斜甚至坍塌等情况。

（三）低强度

软土的抗剪强度极低，其不排水抗剪强度一般仅在10~30kPa之间。软土内部颗粒间的胶结作用较弱，颗粒排列松散，缺乏有效的骨架支撑结构。当承受建筑物荷载时，土体内部的剪应力极易超过其抗剪强度，引发剪切破坏。这不仅会降低地基的承载能力，无法有效支撑建筑物上部荷载，还会造成地基失稳，严重威胁建筑结构的安全，导致建筑物出现不均匀沉降、墙体裂缝等问题。

（四）透水性差

软土的透水性极差，渗透系数通常在 $10^{-7}-10^{-8}\text{cm/}$

s之间，属于典型的低渗透性土。这是因为软土颗粒细小，孔隙尺寸微小且多呈弯曲、连通性差的状态。在排水固结过程中，孔隙水难以快速排出，导致固结速度缓慢。建筑物在施工过程中及建成初期，地基沉降变形难以在短时间内稳定，沉降时间长，容易出现因沉降差异过大而导致的结构损坏，如基础开裂、地面隆起或下沉等。

（五）流变性

软土具有显著的流变性，在一定的荷载作用下，其变形会随时间持续发展，主要表现为蠕变和应力松弛等现象。蠕变指在恒定荷载作用下，软土变形随时间不断增加；应力松弛则是在应变保持不变时，土体内部应力随时间逐渐降低。流变性使得软土地基上建筑物的沉降变形不仅与荷载大小、作用时间有关，还与加载历史、环境因素等相关，极大地增加了沉降变形的复杂性和不确定性，给地基沉降预测和建筑物稳定性分析带来了极大挑战。

二、软土地基建筑结构基础设计的难点

（一）沉降控制难度大

由于软土地基的高压缩性和流变性，在建筑物荷载作用下，软土地基会产生较大的沉降和不均匀沉降。过大的沉降会导致建筑物室内外地坪高差减小，影响建筑物的使用功能；不均匀沉降则可能使建筑物结构产生附加应力，导致墙体开裂、基础破坏等严重后果。准确预测软土地基的沉降量和沉降分布，并采取有效的控制措施是基础设计中的一大难点。

（二）承载能力确定困难

软土的低强度和复杂的力学性质使得确定其地基承载能力变得困难。常规的地基承载力计算方法在软土地基中往往存在较大误差，而且软土地基的承载能力还受到排水条件、加载速率、应力历史等多种因素的影响。如何准确确定软土地基的承载能力，为基础设计提供合理的依据，是设计人员面临的重要问题。

（三）稳定性问题突出

软土地基在承受建筑物荷载时，容易发生整体滑动、局部剪切破坏等稳定性问题。特别是在高层建筑、重型厂房等对地基稳定性要求较高的建筑工程中，软土地基的稳定性问题更为突出。在基础设计中，需要对软土地

基的稳定性进行详细分析和评估，并采取相应的加固措施，以确保地基的稳定性。

(四) 基础选型受限

由于软土地基的特殊性质，一些常规的基础形式可能无法满足设计要求。例如，浅基础在软土地基上往往难以提供足够的承载能力和稳定性；而桩基础虽然是软土地基常用的基础形式，但在某些情况下，如软土层厚度过大、地下水位较高等，桩基础的设计和施工也会面临诸多困难。因此，在软土地基建筑结构基础设计中，基础选型受到一定的限制，需要综合考虑多种因素来选择合适的基础形式。

(五) 施工过程影响大

软土地基的施工过程对基础设计和建筑物的最终沉降变形有很大影响。施工过程中的土体扰动、加载速率、排水条件等因素都会改变软土地基的力学性质，进而影响基础的承载能力和沉降特性。在基础设计中，需要充分考虑施工过程的影响，制定合理的施工方案和施工顺序，以减小施工过程对软土地基的不利影响。

三、软土地基建筑结构基础设计的解法

(一) 沉降控制方法

1. 地基处理

通过地基处理方法可以改善软土地基的物理力学性质，减小地基的沉降量。常见的地基处理方法有排水固结法、强夯法、振冲法、深层搅拌法等。排水固结法是通过在地基中设置排水体，如砂井、塑料排水板等，加速软土的排水固结过程，减小地基的沉降量；强夯法适用于处理浅层软土地基，通过强大的夯击能使软土密实，提高地基的承载力和减小沉降量；振冲法是利用振冲器的振动和水冲作用，在软土地基中形成密实的桩体，与原地基土共同承担荷载，减小沉降量；深层搅拌法是利用水泥、石灰等固化剂与软土强制搅拌，形成具有整体性、水稳性和一定强度的加固体，从而提高地基的承载能力和减小沉降量。

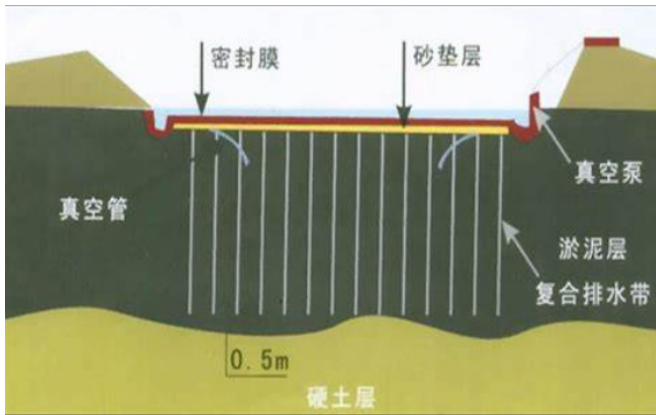


图1 排水固结法

2. 基础形式优化

合理选择基础形式对于控制软土地基的沉降也非常重要。对于荷载较小的建筑物，可以采用筏板基础、箱形基础等整体性较好的基础形式，以增大基础的底面积，减小基底压力，从而减小地基的沉降量。对于荷载较大

的高层建筑，可以采用桩筏基础、桩箱基础等组合基础形式，通过桩将建筑物荷载传递到深层较好的土层中，同时利用筏板或箱形基础的整体性来调整不均匀沉降。

3. 施工控制

在施工过程中，严格控制加载速率和施工顺序可以有效减小软土地基的沉降。加载速率过快会导致软土地基中的孔隙水压力来不及消散，从而使地基产生过大的沉降和不稳定。因此，在建筑物施工过程中，应根据软土地基的特性和设计要求，合理安排施工进度，控制每层的加载厚度和加载时间间隔。同时，合理的施工顺序也可以减小地基的不均匀沉降，例如，对于建筑群，应先施工荷载较大的建筑物，后施工荷载较小的建筑物。

(二) 承载力确定方法

1. 现场试验

现场试验是确定软土地基承载能力的最直接、最可靠的方法。常用的现场试验方法有载荷试验、静力触探试验、标准贯入试验等。载荷试验是在现场直接对地基土施加荷载，测定地基土在各级荷载作用下的沉降量，从而确定地基的承载能力和变形特性；静力触探试验是利用圆锥探头匀速贯入地基土中，通过测定探头的贯入阻力来确定地基土的物理力学性质和承载能力；标准贯入试验是用标准重量的锤自一定高度自由落下，将标准贯入器打入地基土中，根据打入一定深度所需的锤击数来确定地基土的承载能力和密实度。

2. 理论计算与经验公式结合

在实际工程中，通常将理论计算方法与经验公式相结合来确定软土地基的承载能力。理论计算方法如太沙基公式、普朗特公式等，虽然有一定的理论基础，但在应用于软土地基时，需要根据软土的特性对公式中的参数进行合理修正。同时，结合工程实践中积累的经验公式，可以更准确地确定软土地基的承载能力。例如，对于某一地区的软土地基，可以根据当地的工程经验，对理论公式进行修正，得到适合该地区的经验公式。

3. 数值分析方法

随着计算机技术的发展，数值分析方法在软土地基承载力确定中得到了广泛应用。常用的数值分析方法有有限元法、有限差分法等。通过建立软土地基和基础的数值模型，考虑软土的非线性力学特性、地基与基础的相互作用等因素，可以较为准确地分析地基在不同荷载作用下的应力应变状态，从而确定地基的承载能力。数值分析方法可以弥补现场试验和理论计算的不足，为软土地基承载能力的确定提供更全面、更深入的分析。

(三) 稳定性保障措施

1. 地基加固

对软土地基进行加固是提高地基稳定性的重要措施。除了前面提到的地基处理方法外，还可以采用土钉墙、挡土墙、锚杆等加固措施。土钉墙是在软土地基中设置土钉，通过土钉与土体之间的摩擦力和粘结力，增强土体的稳定性；挡土墙可以抵抗土体的侧向压力，防止土体滑动；锚杆则是将拉力传递到稳定的土体中，提高土体的抗滑能力。

2. 基础埋深控制

合理确定基础的埋深对于保证地基的稳定性也非常重要。基础埋深过浅，地基容易发生滑动破坏；基础埋深过大，则会增加工程造价和施工难度。在软土地基中，基础的埋深应根据建筑物的荷载、地基土的性质、地下水位等因素综合确定，一般应满足地基稳定性和变形要求。同时，在基础埋深范围内，应尽量避免存在软弱土层，如无法避免，应采取相应的加固措施。

3. 稳定性分析

在基础设计过程中，需要对软土地基的稳定性进行详细分析。常用的稳定性分析方法有瑞典圆弧法、毕肖普法等。这些方法通过计算地基在各种荷载作用下的滑动面和抗滑力，评估地基的稳定性安全系数。如果安全系数不满足要求，则需要采取相应的加固措施，直到地基的稳定性满足设计要求为止。同时，在建筑物使用过程中，还应定期对地基的稳定性进行监测，及时发现和处理可能出现的问题。

（四）基础选型策略

1. 综合考虑因素

在软土地基建筑结构基础选型时，应综合考虑建筑物的类型、荷载大小、使用要求、地质条件、施工条件和工程造价等因素。对于层数较少、荷载较小的建筑物，如一般的住宅、办公楼等，可以优先考虑采用浅基础，如筏板基础、箱形基础等；对于层数较多、荷载较大的高层建筑，如高层住宅、商业大厦等，则应采用桩基础或桩筏基础、桩箱基础等组合基础形式。同时，还应考虑地质条件的影响，如软土层的厚度、分布情况、下卧层的性质等，选择合适的基础形式和桩型。

2. 新型基础形式应用

随着建筑技术的不断发展，一些新型的基础形式在软土地基中得到了应用。例如，空心桩基础，通过在桩身设置空心部分，可以减小桩的自重，降低工程造价，同时还能提高桩的承载能力和抗拔能力；异形桩基础，如十字形桩、T形桩等，通过改变桩的截面形状，增加桩与土体之间的摩擦力和粘结力，提高桩的承载能力。在实际工程中，可以根据具体情况，合理选用新型基础形式，以满足软土地基建筑结构基础设计的要求。

（五）施工过程控制措施

1. 土体保护

在软土地基施工过程中，应尽量减少对土体的扰动。采用先进的施工工艺和设备，如静压桩施工、泥浆护壁成孔灌注桩施工等，可以减小施工过程中对土体的挤压和振动。同时，在施工过程中应注意保护地基土的原状结构，避免在地基上随意堆放重物、开挖沟槽等，防止地基土的强度降低和变形增大。

2. 排水与降水控制

软土地基的透水性差，在施工过程中容易产生积水，影响施工进度和地基质量。因此，在施工前应制定合理的排水与降水方案，确保施工场地内的积水能够及时排出。对于地下水位较高的地区，应采取有效的降水措施，

如井点降水、深井降水等，降低地下水位，保证基础施工在无水条件下进行。同时，在降水过程中应注意对周边环境的影响，防止因降水导致周边建筑物和地下管线的沉降和变形。

3. 施工监测

施工监测是软土地基建筑结构基础施工过程中的重要环节。通过对地基沉降、土体侧向位移、孔隙水压力等参数的监测，可以及时掌握地基的变形和受力情况，发现异常情况及时采取措施进行处理。同时，施工监测数据还可以为基础设计和施工提供反馈信息，对设计方案和施工工艺进行优化和调整，确保基础施工的安全和质量。

四、工程实例分析

（一）工程概况

某城市的一座高层建筑，地上30层，地下2层，总高度为100m，采用框架-核心筒结构体系。建筑场地位于河流冲积平原，地基土主要为软黏土，软土层厚度约为15m，其含水量为45%，压缩系数为 0.8MPa^{-1} ，不排水抗剪强度为20kPa。地下水位较高，距离地面约1.0m。

（二）基础设计难点分析

在该工程的基础设计中，面临着沉降控制难度大、承载能力确定困难、稳定性问题突出等难点。由于建筑物高度较高，荷载较大，软土地基的高压缩性和低强度使得地基沉降和承载能力成为设计的关键问题。同时，软土地基在高层建筑荷载作用下的稳定性也需要进行详细分析和评估。

结语

软土地基建筑结构基础设计是一项复杂而重要的工作，涉及到岩土力学、结构力学、施工技术等多个学科领域。在设计过程中，需要充分认识软土地基的特性，深入分析基础设计中存在的难点问题，并采取针对性的解决方法。通过合理的地基处理、基础形式优化、承载能力确定、稳定性保障措施以及施工过程控制，可以有效解决软土地基建筑结构基础设计中的难点，确保建筑结构在软土地基上的安全与稳定。同时，随着建筑技术的不断发展和工程实践经验的积累，应不断探索和创新软土地基建筑结构基础设计方法，以适应日益复杂的工程建设需求。在未来的研究中，可以进一步深入研究软土地基的力学特性和变形机理，完善地基处理和基础设计理论，开发更加先进、高效的地基处理技术和基础形式，为软土地基上的建筑工程提供更加可靠的技术支持。

参考文献

- [1] 陈墨, 陈丽君. BIM技术在装配式建筑软土地基加固流程优化中的应用[J]. 廊坊师范学院学报(自然科学版), 2021, 21(01): 79-83.
- [2] 张鑫. 软土地基处理技术在建筑工程施工中的应用[J]. 四川水泥, 2021, (02): 79-80.
- [3] 张捷. 软土地基桥梁下部结构设计[J]. 交通世界, 2020, (14): 124-126.