

基于高层建筑超长地下室的结构设计

黄维义

中南建筑设计院股份有限公司, 湖北 武汉 430070

摘要： 随着城市化进程的加速和建筑技术的不断发展，高层建筑的需求量日益增加，而超长地下室作为高层建筑的重要组成部分，其结构设计的重要性也日益凸显。超长地下室不仅承担着停车、设备用房等功能，更是高层建筑稳定性和安全性的重要保障。基于此，本文从高层建筑超长地下室结构的特点出发，分析了其在结构设计存在的问题，并探究了相应的解决措施，以期推动高层建筑超长地下室结构设计水平的不断提升。

关键词： 高层建筑；超长地下室；结构设计；抗浮；沉降

Structural Design Based on Super-Long Basement of high-rise Building

Huang Weiyi

Central South Architectural Design Institute Co., Ltd, Hubei, Wuhan 430071

Abstract： With the acceleration of urbanization and the continuous development of construction technology, the demand for high-rise buildings is increasing, and the importance of structural design of extra-long basement as an important part of high-rise buildings is also becoming more and more prominent. Long basement not only bears the parking, equipment room and other functions, but also an important guarantee for the stability and safety of high-rise buildings. Based on this, this paper from the characteristics of high-rise building long basement structure, analyzed its problems in the structural design, and explore the corresponding measures to promote the level of high-rise building long basement structural design continue to improve.

Key words： high-rise building; long basement; structural design; anti-floating; settlement

引言

随着城市化的不断推进和土地资源的日益紧张，高层建筑成为城市天际线的常客。与此同时，为了充分利用有限的地面空间，超长地下室在高层建筑工程中的应用日渐广泛。超长地下室不仅能够提供停车场、储藏室、机房等必需的辅助用房，而且还有助于提高整个建筑的使用效率和空间价值。然而，超长地下室结构的设计却是一个充满挑战的工程问题。其设计必须综合考虑多种因素，如地质条件、地下水压力、结构荷载、施工技术、防水排水以及与超高层建筑的结构联接等因素。因此，探讨高层建筑超长地下室的结构设计很有必要。

一、超长地下室结构的特点

（一）跨度大

超长地下室往往需要大跨度设计以满足空间使用需求，这对结构稳定性和整体性提出了更高要求。大跨度地下室通常采用无柱或少柱结构形式增加使用空间的灵活性，同时需要采用高强度材料和加强梁、板等构件来保证结构的承载能力。

（二）荷载重

高层建筑地下室不仅要承受上部建筑的巨大荷载，还需考虑土压力、水压力等多方面的荷载作用。进行结构设计时需要充分考虑各种荷载组合，采取足够的安全系数和合理的构造措施来应对各种复合荷载。

（三）结构形式多样

超长地下室可采用各种结构形式，如框架-剪力墙结构、框架-支撑结构、钢结构或钢-混凝土组合结构等，以满足不同功能和技术要求。设计中会考虑到结构的经济性、施工便利性和未来的使用与维护要求。

（四）抗震要求高

高层建筑受到地震影响较大，尤其是在地震活跃区，超长地下室结构需有更高的抗震设计标准。需要采用地震隔震、减震系统或足够的延性设计，确保结构在地震作用下能够保持良好的变形能力以及有效的能量消散机制。

（五）环境条件复杂

地下室设计需要考虑到防水、防潮、排水等问题，特别是在

地下水位较高的地区。需要结合地质条件、地下水状况进行综合评估，设计合理的地下连续墙、排水系统和防水措施，同时考虑通风和照明的配置。

二、高层建筑超长地下室设计中存在的问题

（一）地质复杂

1. 地质勘察数据不足

对于庞大项目，设定合理的勘探点和深度是保证数据全面性的关键，但成本和技术限制可能会导致勘探深度和范围不足，难以全面了解地质情况。其次，地质数据可能在空间分布上显示出明显的不均匀性，这对于跨越大面积的超长地下室尤为关键，会增加结构设计的不确定性。同时，地质数据需要高精度的测试仪器和技术来获取，不足的数据精确度可能会让设计师无法准确判定地下环境，从而影响设计方案的选取。此外，即便获取了足够的地质数据，仍可能忽视了地质条件随时间的变化，如不同季节地下水位的周期性波动等，这可能在后期的使用中引发问题。

2. 基础结构设计难题

超长地下室需要适应多种土层的力学特性，结构设计必须保证足够的承载能力和变形控制，同时考虑到各种土层可能产生的差异性沉降。特别是对于在地震带区域的超长地下室设计，需要综合评估多种地震力作用下的响应，这可能涉及复杂的动力计算和高級的抗震设计^[1]。同时，若地下水位较高或变化剧烈，需要对地下室的防水性和排水系统做出精确设计，同时考虑抗浮措施，以避免结构的浮力问题。

3. 施工材料选择困难

在有酸碱性土壤或含有其他腐蚀性化学物质的环境中，施工材料需要有良好的防腐蚀能力，选择合适的材料和防护措施是设计的关键之一。要保证地下室的防水性能，需选用耐久且高效的防水材料，而高性能防水材料的选择往往伴随着成本的大幅增加。此外，考虑到地质条件的复杂性，选择能够适应不同荷载情况的结构材料，确保其既有足够的强度又兼具良好的延性和韧性，是确保地下室长期稳定性的基础。

（二）抗浮问题

1. 抗浮设计标准不统一

目前，我国高层建筑超长地下室的抗浮设计标准尚未统一，各地区、各行业的要求不尽相同。这导致了设计人员在处理抗浮问题时缺乏明确的依据和标准，容易产生设计上的偏差和失误。

2. 抗浮设防水位确定难度大

抗浮设防水位的确定是高层建筑超长地下室抗浮设计的关键环节之一。由于地下水位受到多种因素的影响，如气候、降雨量、地形等，因此准确确定地下水位及其变化幅度较为困难。此外，地质勘察资料的精度和可靠性也会对抗浮设防水位的确定造成影响。

3. 地下室自重荷载较小

高层建筑超长地下室的自重荷载相对较小，这使得在抗浮设计中容易产生较大的浮力作用。为了解决这个问题，设计人员通

常采取增加地下室顶板厚度、增加配重等方式来提高地下室的自重荷载，以减小浮力对地下室结构的影响。

4. 抗浮措施单一且效果有限

目前，高层建筑超长地下室的抗浮措施主要包括设置抗浮桩或抗浮锚杆、采用加重材料等。然而，这些措施的效果有限，且对于不同的地质条件和工程要求，其适用性和效果也会有所不同^[2]。

5. 结构选型不当影响抗浮安全

高层建筑超长地下室的结构选型对于抗浮安全至关重要。不合理的结构选型会导致抗浮失效，进而影响地下室的整体稳定性和安全性。

6. 地下水位波动影响抗浮效果

地下水位的变化会对高层建筑超长地下室的抗浮效果产生影响。当地下水位升高时，会增大地下室受到的浮力作用，对抗浮结构造成威胁。当地下水位下降时，则会导致地下室底板和侧壁的开裂和渗漏等问题。

（三）不均匀沉降

不均匀沉降是指高层建筑超长地下室的各部分在沉降过程中发生的不同步、不均匀的现象。这种现象会导致地下室结构出现裂缝、倾斜等问题，严重影响建筑物的安全和使用寿命。出现不均匀性沉降主要有四个方面的原因：其一是高层建筑超长地下室通常位于地质条件较为复杂的地段，如软土、砂土、粘土等。这些地质条件的差异会导致地下室的各部分发生不均匀沉降；其二是基础设计不合理，如基底面积不足、基础形式不当等，也会导致不均匀沉降的产生；其三是在施工过程中，如果施工方法不当或施工质量存在问题，如回填土不实、混凝土浇筑不均匀等，也会导致不均匀沉降；其四是高层建筑超长地下室的外部荷载作用也是导致不均匀沉降的原因之一。例如，地下管线、车辆荷载等外部荷载可能会引起地下室的不均匀沉降。

不均匀沉降的会带来严重的后果，会导致高层建筑超长地下室的墙体、楼板等结构部位出现裂缝，严重时可能引起结构整体破坏；会促使建筑物局部或整体倾斜，进而影响建筑物的正常使用，如可能出现渗漏、设备损坏等问题；也会影响建筑物的美观和使用功能，更重要的是会降低建筑物的安全性能，可能对人们的生命财产安全构成威胁；对于已经出现不均匀沉降的建筑物，需要进行加固、修复等措施，这也会进一步增加后期的维护成本和使用成本。

三、高层建筑超长地下室结构设计要点

（一）加强地质勘察

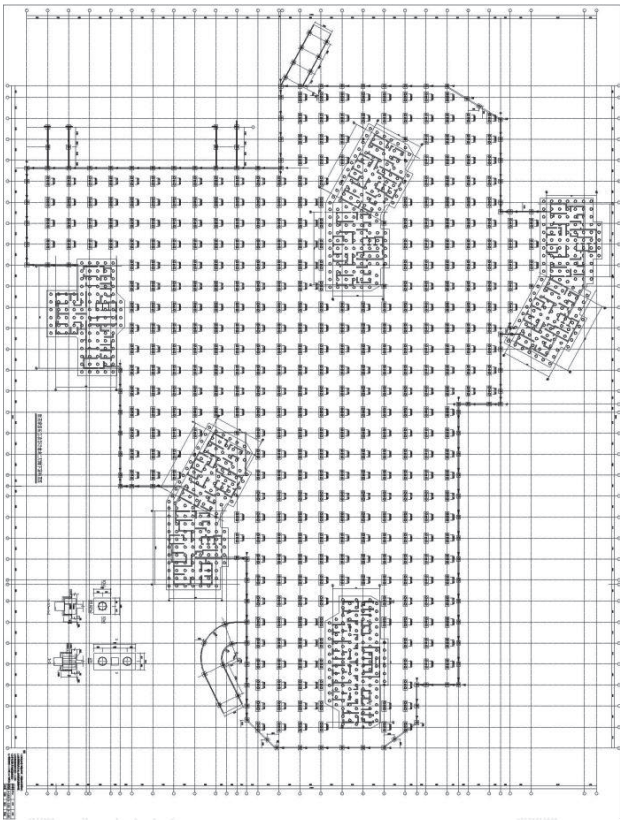
1. 拓展地质勘察数据

针对前期地质勘察数据不足的问题，首先，要扩展勘察范围和深度，在初期规划阶段增加勘察点和深度，尽可能全面收集地质信息。其次，要借助高精度勘探技术，如地球物理勘测技术，提高数据质量和解析度。还可以引入长期地质监测系统，观察地下水位、土壤压力等参数的变化趋势，及时调整设计参数。再基

于已有数据建立设计模型，并考虑数据不确定性的影响，设计时留有足够的安全余地和调整空间。

2. 完善基础结构设计

针对地下室基础结构存在的基础结构设计问题，要利用现代抗震设计理论和软件进行精细化分析，设计抗震支撑和隔震层等结构，以提升抗震能力。针对不同土层，要采取地基处理方式，如注浆、夯实、深层搅拌等技术改善地基承载力^[3]。可以将地下室划分为多个模块，设计时考虑各模块单独和联合作用下的承载能力和变形，减少不同地质条件引起的复杂性。



> 图1：地下室结构图

3. 选择性能好的施工材料

在高层建筑超长地下室结构设计中，要优化材料的选择^[4]。可以通过材料试验和性能测试，精确评估不同环境下的材料耐久性，并选择最优材料。同时，要鼓励与研究机构合作，开发具有更好性能的新型结构和防水材料，提高设计的适应性和可靠性。此外，要考虑到成本的问题，对比不同材料的性价比，结合工程成本、施工难度和结构使用寿命，综合决定最合适的材料选择。还可以采取如滑模、预制预压和机械化施工等先进建造技术，以提升施工效率和材料性能的发挥^[5]。

（二）解决抗浮问题

1. 降低抗浮设防水位

通过排水井或者泄水系统，可以有效地控制地下水位，并在一定程度上减小水的上升力，从而降低对地下室产生浮力的风险。设计时需充分考虑降水系统的布置和运作效率，以确保长期稳定的效果。配备自动监测设备可以持续追踪地下水位，并结合气候变化与季节性水位变动进行灵活调整，以保持地下水位在预

定范围之内^[6]。

2. 楼盖采用无梁或宽扁梁

无梁楼盖或者宽扁梁设计可以提供更加均匀的压力分布，有助于减少局部的应力集中，增加结构体抗浮能力的均衡性^[7]。此方式还可以增加结构的固有刚度，提高其整体稳定性，从而抵抗地下水造成的上浮力^[8]。

3. 增加地下室重量

在地下室底板或其他结构部件中增加重质材料可以增加结构本体重量，提供更大的向下压力^[9]。比如，使用重质填料或混凝土，这可以抵御地下水产生的浮力。同时，设计合理的结构形式也能增加地下室的重量，例如，在地下室底板设计中增加厚度，以及在结构布局上避免大面积空腔，以增强结构的整体重量和稳定性。

4. 设置抗浮桩

通过在地下室底部设置垂直于地面的抗浮桩，可将地下室的浮力传递至更深的地基层中，这些桩能够有效承载向上的浮力，并将力量传递给承载力更强的土层。在设置抗浮桩时，要精确计算桩的尺寸和间距，以确保足够的承载力和效费比，同时考虑到施工可行性和经济性。抗浮桩的设计和布置应充分结合地质条件和施工技术条件，确保其有效性。

（三）解决不均匀沉降问题

1. 采用人工处理地基

表1：常见人工处理地基方式

| 人工处理地基 | 适宜土层 | 方法 |
|--------|-------------------------------|--|
| 土壤加固法 | 软弱土层 | 如置换法、拌入法、夯实法等，可以提高土壤的承载力和压缩模量，减少沉降量。 |
| 排水固结法 | 饱和和软粘土 | 在土中设置砂井、袋装砂井等竖向排水体，使土体中的水分被逐渐排出，土体发生固结变形，提高土的承载能力和抗剪强度，减少沉降量。 |
| 桩基法 | 地质条件复杂、不均匀的地基 ^[10] | 根据地质条件和沉降要求选择不同的类型，如预制桩、灌注桩等。桩基将上部结构的荷载传递到下层土体中，增加土体的承载力和抗剪强度，减少沉降量。 |

2. 主体结构采用桩基础

（1）桩基础设计

超长地下室通常采用深基础，如桩基础，以传递荷载至地基深处承载力更好的土层或岩石，从而减少沉降。在设计时，要考虑实际荷载分布，科学设计桩位布局，确保负载在不同桩之间均匀分配。

（2）选择合适的桩种类

钻孔灌注桩适用于承受垂直和水平载荷，有较好的承载能力和刚性。预应力高强度混凝土管桩、方桩具有高承载力和较好的抗弯性能，适合在复杂地质条件下使用。

（3）桩基础联合作用

考虑桩与桩帽、梁等结构的联合作用，提升整个基础的刚度，减小由于局部荷载引起的不均匀沉降。

（4）桩基础深度

要根据地质调查结果以及建筑物的荷载特点，合理确定桩深，以确保承载层的均匀性和稳定性。

（5）桩身设计

强化桩身设计，考虑采用高强度材料和适当的桩身横截面，以抵抗较大的载荷和弯矩。

（6）变形监控与调整

在施工和使用过程中，设置地面和桩身的位移监测点，对不均匀沉降实施实时监测。同时，要设计具有适当调整能力的基础，如通过预留加固通道进行后期加固或使用千斤顶进行局部调整。

四、结语

随着高层建筑对超长地下室依赖程度的不断升高，合理的结构设计成了确保其安全与功能的关键。而合理的超长地下室的结构设计不是一个孤立的过程，而是一个多学科、多阶段、多参与者的综合工程。展望未来，随着新材料的应用、新技术的发展以及建筑规模的进一步扩大，超长地下室的设计理念和方法也将持续优化。因此，在未来的工作中，仍然需要继续关注结构设计领域的新动态和新进展，积极探索和应用新的理论和技术，以不断提升超长地下室结构设计的水准和质量。同时，也需要加强对实际工程案例的总结和分析，通过实践不断积累经验，提高结构设计的能力和水平。

参考文献

- [1] 孙迪. 建筑工程地下室结构设计分析与探讨 [J]. 中国新技术新产品, 2016,(02):98-99.
- [2] 赵畅. 高层建筑中超长地下室结构设计的问题分析 [J]. 住宅与房地产, 2017,(33):89.
- [3] 任辉. 超长地下室结构设计要点 [J]. 建筑设计管理, 2012,29(04):73-74+78.
- [4] 黄毅斌. 大底盘多塔楼高层建筑地下室结构设计分析 [J]. 福建建材, 2014,(05):24-25.
- [5] 廖萍. 超长地下室混凝土结构设计实践 [J]. 工业建筑, 2014,44(S1):625-627.
- [6] 周一凡. 地下室结构设计的常见问题及解决措施 [J]. 建筑技术开发, 2022,49(01):15-17.
- [7] 陈俊力, 许利彭. 高层建筑的地下室设计浅析 [J]. 门窗, 2012,(11):120-121.
- [8] 梁志红. 鹤山供电局大楼结构设计 [J]. 广东土木与建筑, 2011,18(04):25-27.
- [9] 孙迪. 建筑工程地下室结构设计分析与探讨 [J]. 中国新技术新产品, 2016,(02):98-99.
- [10] 徐氢清. 高层建筑超长地下室结构设计的若干问题 [J]. 科技创业家, 2012,(19):50.