

浅析房屋建筑工程地基与基础溶洞处理

汪佳明

绿城房地产建设管理集团有限公司 浙江 杭州 312000

摘要：随着城市化进程的加速，房屋建筑工程在岩溶地区的建设日益增多，溶洞问题成为影响地基稳定性的关键因素。本文深入探讨了房屋建筑工程中地基与基础溶洞的处理技术，包括溶洞的探测、稳定性评估、加固方法以及排水与填充策略。通过实际案例分析，验证了处理方法的有效性和经济性，旨在为岩溶地区房屋建筑工程提供科学依据和技术支持，确保工程安全与质量。

关键词：房屋建筑工程；地基与基础；溶洞处理

引言：在房屋建筑工程中，地基与基础的稳定性是确保建筑物安全的关键要素。然而，在岩溶地质条件下，溶洞的存在给地基处理带来了诸多难题。溶洞的形成受地质构造、地下水活动等多种因素影响，其复杂性和不确定性对地基的承载力和稳定性构成了严重威胁。因此，如何科学有效地处理地基与基础溶洞问题，确保建筑物的安全稳定，成为了房屋建筑工程领域亟待解决的重要课题。

1 溶洞及其对房屋建筑工程的影响

1.1 溶洞的形成与分布

（1）溶洞的形成机制。溶洞的形成主要受到地质条件、地下水运动和岩石性质的共同影响。在可溶性岩石，如石灰岩、石膏、盐岩等地层中，地下水通过侵蚀和溶蚀作用逐渐形成了洞穴空间。具体来说，水中溶有的二氧化碳和有机酸会与岩石中的碳酸钙反应，生成可溶性的碳酸盐并被带走，从而在岩石地层中产生裂隙。这些裂隙随着地下水的持续流动而不断扩张，最终形成了我们看到的溶洞。（2）溶洞的分布特征。溶洞在全球范围内分布广泛，特别是在欧洲、亚洲、北美洲和南美洲等地区的可溶性岩石地层中。在中国，溶洞也广泛分布于南方各省（区），如广西、贵州等地，其中桂林的芦笛岩、重庆的仙女山等均为著名的溶洞景区。这些溶洞不仅具有观赏价值，还蕴藏着丰富的地质信息和生态环境。

1.2 溶洞对地基承载力的影响

（1）溶洞导致地基承载力降低的机理。溶洞内部空间较大，其存在会减弱地基的承载力。当地基下方存在溶洞时，由于溶洞内部没有有效的岩土支撑，地基的承载能力会显著下降。这不仅会影响建筑物的稳定性，还可能导致建筑物在重力作用下发生下沉或倾斜^[1]。（2）溶洞引起地基沉降、倾斜等不稳定现象。溶洞内的地

下水流动以及溶洞本身的稳定性问题都可能引起地基的沉降和倾斜。当地下水位变化或溶洞顶板受到外力作用时，溶洞可能发生塌陷或变形，从而导致地基的不稳定。地基的不稳定会直接影响建筑物的使用安全，甚至可能导致建筑物的破坏。

1.3 溶洞对房屋建筑工程安全的威胁

（1）溶洞可能导致建筑物结构破坏、地下管线断裂等质量问题。溶洞对房屋建筑工程的安全构成严重威胁。当地基下方存在溶洞时，建筑物的结构可能因地基承载力的不足而发生破坏。此外，溶洞还可能引起地下管线的断裂和漏水等问题，给建筑物的正常使用带来困扰。（2）溶洞处理不当可能引发的工程事故。在房屋建筑工程中，如果溶洞处理不当，可能引发严重的工程事故。例如，在基坑开挖过程中，如果挖穿了暗河、蓄水溶洞等，可能产生突然涌水，给工程施工带来极大困难。此外，溶洞还可能引起地面塌陷和山体滑坡等地质灾害，对周边环境和建筑物的安全构成威胁。因此，在房屋建筑工程中，必须充分考虑溶洞的影响，并采取相应的处理措施以确保工程的安全。

2 房屋建筑工程地基与基础溶洞处理方法

2.1 溶洞探测与评估

2.1.1 探测方法

（1）地质勘察：通过钻探取样、地质剖面分析等手段，直接观察溶洞的存在情况，获取溶洞的地质信息。地质勘察是溶洞探测的基础，能够为后续的处理方法提供可靠的依据。（2）地震勘探：利用地震波在地下介质中的传播特性，通过人工激发地震波并接收反射波，分析溶洞的位置、形态和大小。地震勘探具有探测深度大、分辨率高的优点，特别适用于复杂地质条件下的溶洞探测。（3）地球物理勘探：包括电阻率法、电磁法、重力法等多种方法。这些方法通过测量地下介质的物理

性质差异,间接推断溶洞的存在。地球物理勘探具有操作简便、成本较低的特点,但探测精度可能受到地质条件的影响^[2]。

2.1.2 溶洞稳定性评估及其对工程影响的分析

在探测到溶洞后,需要对溶洞的稳定性进行评估。这包括溶洞顶板岩体的力学性质分析、地下水对溶洞稳定性的影响分析,以及溶洞对地基承载力的影响分析。通过稳定性评估,可以了解溶洞对工程安全的潜在威胁,为后续加固处理提供依据。

2.2 溶洞加固方法

2.2.1 加固技术

(1) 锚杆支护:通过在溶洞周边钻孔并安装锚杆,利用锚杆与岩体的锚固作用,增强溶洞的稳定性。锚杆支护具有施工简便、成本较低的优点,适用于小型、稳定性较好的溶洞。(2) 喷射混凝土:将混凝土通过高压喷射到溶洞表面,形成一层坚固的混凝土层。喷射混凝土能够迅速封闭溶洞,提高溶洞的承载力和抗渗性。该方法适用于溶洞内部空间较大、需要快速封闭的情况。

(3) 锚索支护:在溶洞内部或周边安装预应力锚索,通过锚索的拉力作用,增强溶洞岩体的稳定性。锚索支护适用于大型、不稳定的溶洞,能够显著提高溶洞的承载能力和抗变形能力。

2.2.2 加固方法的选择与适应性分析

加固方法的选择应根据溶洞的规模、形态、稳定性以及地质条件综合考虑。对于小型、稳定性较好的溶洞,可以采用锚杆支护或喷射混凝土加固;对于大型、不稳定的溶洞,则需要考虑使用锚索支护或其他组合加固方法。此外,加固方法的选择还应考虑施工条件、成本效益以及对环境的影响等因素^[3]。

2.3 溶洞排水与填充方法

2.3.1 排水措施

(1) 排水孔:在溶洞周边或内部钻设排水孔,将溶洞内的积水排出,降低溶洞内的水位。排水孔的设置应根据溶洞的形状和大小合理布局,确保排水效果。(2) 排水沟:在溶洞上方或周边开挖排水沟,引导地表水和地下水绕过溶洞区域,避免溶洞积水。排水沟的设计应考虑地形和降雨量等因素,确保排水顺畅。(3) 降水井:在溶洞附近设置降水井,通过抽水设备降低地下水位,减少溶洞内的水压。降水井的布置和抽水强度应根据地下水位动态和溶洞稳定性综合分析确定。

2.3.2 填充方法

(1) 水泥浆填充:将水泥与水混合成浆体,通过注浆管注入溶洞内部。水泥浆凝固后能够形成坚固的填充

体,提高溶洞的承载力和稳定性。水泥浆填充适用于小型、稳定性较好的溶洞。(2) 混凝土填充:采用混凝土材料对溶洞进行填充。混凝土填充具有强度高、耐久性好的优点,但施工成本较高。适用于大型、不稳定的溶洞或需要承受较大荷载的部位。(3) 土工布填充:在溶洞内部铺设土工布材料,防止填充材料流失。土工布填充适用于溶洞内部空间较大、填充材料不易固定的情况。土工布还能起到隔离作用,防止填充材料与溶洞周边岩体发生化学反应^[4]。

2.3.3 排水与填充方法的优缺点及适用条件

排水措施能够迅速降低溶洞内的水位和水压,提高溶洞的稳定性;但长期排水可能会导致溶洞周边地层沉降,影响地基的稳定性。填充方法则能够封闭溶洞空间,提高地基的承载力和稳定性;但填充材料的选择和施工质量对加固效果具有重要影响。在选择排水与填充方法时,应根据溶洞的规模、形态、地质条件以及工程需求综合考虑。

2.4 其他处理方法

2.4.1 新型处理方法

(1) 护筒跟进加固法:在钻孔灌注桩施工遇溶洞时适用。钻孔时同步安装护筒,防止孔壁坍塌,保护溶洞周边地层稳定,提升成桩质量,保障溶洞区域安全。

(2) 预应力管桩法:新型桩基技术,适用于溶洞地基处理。在溶洞上方或周边打入预应力管桩,借助其高承载力与抗拔力,增强地基稳定性。该方法施工速度快、承载力高、抗变形能力强,适用于大型、不稳定溶洞加固工程。(3) 化学注浆加固法:用高分子化学材料对溶洞注浆加固,封闭溶洞空间,提升其承载力和稳定性。此方法施工简便、效果好,但需注意注浆材料选择和施工质量把控。

2.4.2 处理方法的创新与实践应用

(1) 在溶洞处理技术创新上,新的技术、材料和工艺不断涌现。比如,使用新型高分子注浆材料,可提高加固效果与施工效率;采用微创技术探测与加固溶洞,减少对周边地层破坏,降低施工难度和成本;利用智能监测技术实时监测加固效果,及时处理安全隐患。

(2) 在实际应用中,每种处理方法都有独特优势和适用范围。选择时,要依据溶洞实际情况和工程需求综合考量。小型、稳定性好的溶洞,可采用锚杆支护、喷射混凝土等方法;大型、不稳定溶洞,则需锚索支护、预应力管桩等复杂方法。此外,还需兼顾施工条件、成本效益和环境影响,确保处理方法合理可行。

3 溶洞处理案例分析

3.1 案例选择与背景介绍

3.1.1 案例选取

本次选取广州某高层住宅楼项目作为典型案例。该项目为地上32层剪力墙结构，地下2层车库，基础采用桩筏联合基础，施工过程中揭露多处岩溶发育区，其中KZ-12桩位溶洞规模最大（洞高8.5m，横向延伸15m），具有岩溶地区房建工程的普遍挑战性。

3.1.2 工程背景与地质条件

（1）工程背景：项目位于广花盆地岩溶强发育区，场地原始地貌为冲积-溶蚀平原，周边3公里内曾有3起岩溶塌陷事故记录。

（2）地质特征：1）覆盖层：第四系冲积层（厚6-8m），以粉质黏土为主，局部夹砂层；2）基岩：石炭系壶天群灰岩，岩面起伏大（高差达12m），岩体破碎且溶蚀率21%；3）水文：地下水位埋深3m，与邻近河流存在水力联系，动态变化显著。

（3）溶洞特征：KZ-12桩位溶洞顶板厚度仅2.3m（小于安全厚度3倍桩径），洞体充填流塑状黏土及碎石，抽水试验显示渗透系数达 $3.2 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ，存在突涌风险。

3.2 处理方案设计与实施

3.2.1 方案设计思路

采用“超前钻探+压力注浆+袖阀管加固”的综合处理技术，具体分三阶段实施：

（1）探查阶段：布置5个加密钻孔（间距1.5m），采用孔内CT扫描确定溶洞边界；注浆试验确定浆液配比：42.5级普通硅酸盐水泥+3%速凝剂+30%粉煤灰，水灰比0.6:1。

（2）加固阶段：袖阀管注浆：按梅花形布置注浆孔（间距1.2m），分序次注浆（Ⅰ序孔压力0.5-0.8MPa，Ⅱ序孔0.8-1.2MPa）；跳孔施工原则，单孔注浆量控制 $\leq 2 \text{m}^3/\text{min}$ 。

（3）验证阶段：注浆28天后取芯检测，要求无侧限抗压强度 $\geq 1.5 \text{MPa}$ ，渗透系数 $\leq 1 \times 10^{-5} \text{cm/s}$ 。

3.2.2 关键技术参数

注浆扩散半径：通过公式 $R = 0.6 \sqrt[3]{\frac{Qt}{n\beta}}$ 计算得2.1m（Q = 注入量，t = 时间，n = 孔隙率， β = 修正系数）；袖阀管间距：依据溶洞充填度调整，黏土区间距加密至0.8m。

3.2.3 方案可行性分析

有效性：注浆体可形成“拱壳效应”，提高顶板抗弯刚度（理论计算变形量从28mm降至5mm）；经济性：较传

统桩基穿越方案节约造价37%；风险控制：实时监测注浆压力与地面抬升量（预警值3mm/10min）。

3.3 处理效果与评估

3.3.1 处理效果验证

（1）承载力测试：静载试验显示复合地基承载力达580kPa（设计要求450kPa）；

（2）稳定性监测：沉降观测：竣工后2年累计沉降9mm（远小于规范限值50mm）；倾斜率0.08‰（ $< 0.1\%$ 允许值）；

（3）质量检测：钻孔取芯显示浆脉充填率92%，芯样抗压强度均值1.8MPa。

3.3.2 方案优缺点总结

优点	缺点
1. 对施工干扰小，工期仅延长15天	1. 注浆盲区需二次补灌（本案例补灌率7%）
2. 造价较旋喷桩节省210万元	2. 浆液易沿岩溶管道流失（损耗率18%）
3. 环保性优于混凝土回填	3. 对操作人员技术水平要求高

改进建议：

（1）探查技术升级：采用三维地质雷达扫描替代传统钻探，精度可提升至 $\pm 0.3 \text{m}$ ；

（2）材料优化：试验纳米硅改性浆液，降低流失率；

（3）智能监测：植入FOS光纤传感器实时监测溶洞结构变形。

结束语

综上所述，房屋建筑工程地基与基础溶洞处理是一项复杂而关键的任务，它直接关系到建筑物的稳定性和安全性。通过合理的探测方法、准确的稳定性评估、科学的加固处理以及有效的排水与填充策略，我们可以有效应对溶洞带来的挑战。未来，随着科技的不断进步和工程实践的深入，地基与基础溶洞处理技术将更加成熟和完善。我们期待更多的创新和突破，为房屋建筑工程的安全稳定贡献力量，推动建筑行业的可持续发展。

参考文献

[1]张鹏,李术才.岩溶地区桩基溶洞处理技术研究进展[J].岩石力学与工程学报,2022,(05):52-53.
[2]王星华,黄戡.岩溶地基桥梁桩基溶洞顶板安全厚度研究[J].土木工程学报,2021,(10):110-111.
[3]刘之葵.岩溶区建筑地基稳定性评价及处理措施[J].岩土力学2020,(S1):20-21.
[4]郑俊杰,章荣军.岩溶区地基处理技术研究现状与展望[J].土木工程与管理学报,2021,(03):31-32.