

岩溶发育区域岩溶注浆处理施工技术

胡江文

郑州铁路工程有限公司 河南 郑州 450000

摘要：随着我国基础设施建设的不断推进，在岩溶发育区域开展工程建设的项目日益增多。本文聚焦于岩溶发育区域的岩溶注浆处理施工技术。首先阐述了该技术的原理，涵盖注浆基本概念、作用机制及相关理论基础；接着详细介绍施工流程，包括施工前准备、钻孔及注浆管理设、浆液制备与输送、注浆充填作业等环节；最后探讨施工技术要点，涉及施工准备、地质探查与孔位定位、钻孔与注浆管安装、浆液制备与注浆作业等方面。旨在为岩溶发育区域工程治理提供全面、系统的技术指导，保障工程安全与质量。

关键词：岩溶发育区域；岩溶注浆处理；施工技术

引言：在岩溶发育区域，复杂的地质条件给工程建设带来诸多挑战，如地基不稳定、渗漏等问题频发，严重影响工程安全与使用寿命。岩溶注浆处理施工技术作为一种有效的工程治理手段，能够改善岩溶地区的地质条件，增强地基的稳定性和抗渗性。通过向岩溶空隙或裂隙中注入浆液，填充并固结周围岩土体，可显著提高工程结构的承载能力。深入研究该施工技术，对于保障岩溶发育区域各类工程建设的顺利进行具有至关重要的现实意义。

1 岩溶注浆处理施工技术原理

1.1 注浆的基本概念

注浆（Injection Grout），又称灌浆（Grouting），是将特定材料配制成浆液，通过压送设备灌入地层或缝隙内，使其扩散、胶凝或固化，以实现加固地层或防渗堵漏目的的技术。作为岩土工程学分支，它属于地基处理与加固范畴。该技术凭借施工设备简单、投资少、工期短、操作便捷、见效快、对环境影响小等优势，在采矿、水利、土木、铁路、公路等众多工程领域广泛应用，为各类工程提供稳定的地质基础^[1]。

1.2 岩溶注浆的作用机制

岩溶注浆通过压力使浆液填塞下伏灰岩顶部溶洞、溶槽、裂隙及上部土层孔隙、土洞。一方面，形成水平注浆帷幕，切断降水或地表水沿覆盖土层下渗路径，降低其对上部土体的潜蚀和淘蚀能力，减少岩溶水与上部覆盖土层间地下水垂直联系，防止深层地下水升降直接侵蚀上部土层；另一方面，加固地基土层，提升地基承载力，增强岩溶地段地基稳定性，有效解决岩溶地质引发的地基强度下降、地层塌陷等问题，保障工程安全。

1.3 相关理论基础

岩溶注浆基于渗透注浆、劈裂注浆、压密注浆和喷

射注浆等理论。渗透注浆是浆液在压力下沿土石界面向四周扩散，封闭界面形成隔水帷幕；劈裂注浆利用高压使浆液劈裂土体，形成浆脉网络；压密注浆通过高压注入浆液，挤压周围土体，提高土体密实度；喷射注浆则借助高压喷射流冲击土体，使浆液与土体混合形成固结体。这些理论为岩溶注浆施工提供了科学依据，指导不同地质条件下合理选择注浆工艺和材料。

2 岩溶注浆处理施工流程

2.1 施工前准备

施工前准备是岩溶注浆处理工程顺利开展的基础，需全面且细致。首先，技术资料收集至关重要。详细收集工程区域的地质勘察报告，了解岩溶发育的规模、形态、分布规律，以及土层的物理力学性质等，为后续施工方案制定提供依据。同时，熟悉设计图纸，明确注浆范围、深度、注浆孔布置等要求。其次，人员与设备准备。组建专业的施工队伍，施工人员需具备相应资质与经验，并进行技术交底和安全培训。根据工程规模和地质条件，合理配备注浆设备，如注浆泵、钻机、搅拌机等，确保设备性能良好、数量充足，同时准备好各类辅助工具和材料。再者，现场布置要合理。规划好材料堆放场地，保证材料存放有序且便于取用；设置临时设施，如办公区、生活区等；搭建施工平台，确保施工操作安全、稳定。另外，还要做好现场的“三通一平”工作，为施工创造良好条件。

2.2 钻孔及注浆管理设

钻孔及注浆管理设是岩溶注浆处理施工中的关键环节，其质量直接影响注浆效果。钻孔作业需依据设计孔位精准定位，使用专业的钻机设备，按照规定的孔径、孔深和角度进行施工。在钻进过程中，要密切关注地质变化情况，根据不同的地层特性调整钻进参数，如钻进

速度、钻压等，确保钻孔的垂直度和直径符合要求。遇到岩溶发育强烈、地层复杂的情况，需详细记录孔内情况，为后续注浆提供参考。钻孔完成后，进行注浆管的埋设。注浆管一般选用具有一定强度和刚度的钢管，其长度要根据孔深确定。将注浆管缓慢插入钻孔内，确保注浆管底部到达设计位置，且在孔内居中放置。为防止注浆过程中浆液外溢，注浆管与孔壁之间需采用合适的材料进行封堵，如水泥砂浆或橡胶塞等。埋设完成后，再次检查注浆管的位置和固定情况，保证其稳固可靠，为后续注浆作业做好充分准备^[2]。

2.3 浆液制备与输送

浆液制备与输送是岩溶注浆处理施工中的重要步骤，关乎注浆质量与工程效果。浆液制备需严格按照设计配比进行。根据工程地质条件和注浆要求，选用合适的水泥、外加剂等材料。先将水泥等干料倒入搅拌桶，开启搅拌设备，使其充分混合均匀；再缓慢加入水，边加边搅拌，控制搅拌时间和速度，确保浆液具有良好的流动性和稳定性，各项性能指标符合设计标准。同时，要随时检测浆液的比重、黏度等参数，根据实际情况及时调整配比。浆液输送依靠注浆泵来完成。在输送前，要检查输送管道的连接是否紧密，避免出现漏浆现象。启动注浆泵，将制备好的浆液通过管道输送至钻孔内的注浆管。输送过程中，要控制好注浆泵的压力和流量，根据注浆情况适时调整，保证浆液能够均匀、连续地注入岩溶地层，确保注浆效果。同时，安排专人观察输送管道和注浆现场，防止出现堵塞、爆管等异常情况。

2.4 注浆充填作业

注浆充填作业是岩溶注浆处理施工的核心环节，直接决定着对岩溶空洞的填充效果与地基加固质量。在开始注浆前，需再次检查注浆设备、输送管道及注浆管连接情况，确保无泄漏、堵塞等问题，同时确认浆液性能指标符合要求。注浆时，依据设计压力和流量，采用合适的注浆方式，如纯压式或循环式。对于浅部岩溶，多采用低压慢注，让浆液充分渗透填充；深部岩溶则适当提高压力，增强浆液的扩散能力。注浆过程中，密切观察注浆压力、流量变化以及地面和周边建筑物的反应。若压力突然上升或下降、流量异常，应立即停止注浆，分析原因，如是否遇到较大空洞、地层裂隙变化等，并采取相应措施，如调整浆液配比、改变注浆参数等。当达到设计注浆量或注浆压力持续稳定一段时间后，可结束注浆。注浆完成后，及时清洗设备和管道，为后续施工做好准备。

3 岩溶注浆处理施工技术要点

3.1 施工准备阶段技术要点

施工准备阶段是岩溶注浆处理工程顺利开展的重要前提，各项准备工作需全面且细致，为后续施工奠定坚实基础。(1)深入开展资料收集与分析工作。广泛收集工程区域的地质勘察报告、设计图纸、周边环境资料等。对地质勘察报告进行深度剖析，明确岩溶的发育程度、分布范围、形态特征以及地下水位、土层性质等关键信息。依据设计图纸，精准掌握注浆处理的目标范围、深度要求、孔距布置等技术参数。同时，了解周边环境情况，如地下管线分布、周边建筑物基础形式等，以便在施工过程中采取相应保护措施，避免对周边环境造成不利影响。(2)精心组织资源配置。根据工程规模和施工方案，合理调配施工设备。选择性能稳定、适配性强的注浆泵、钻机、搅拌机等设备，并确保设备数量满足施工进度要求。提前对设备进行全面检查、调试和保养，保证设备在施工过程中能够正常运行。同时，组建专业且经验丰富的施工队伍，对施工人员进行技术交底和安全培训，使其熟悉施工流程、技术要求和质量标准，提高施工人员的操作技能和安全意识。(3)合理规划现场布置。科学规划材料堆放场地，将水泥、外加剂等材料分类存放，设置明显的标识，便于材料的取用和管理。搭建稳固的施工平台，确保施工过程中的安全和稳定。设置合理的排水系统，防止施工现场积水。同时，搭建必要的临时设施，如办公区、生活区等，为施工人员创造良好的工作和生活环境^[3]。

3.2 地质探查与孔位定位技术要点

地质探查与孔位定位是岩溶注浆处理施工的关键前期环节，精准的操作能保障后续注浆效果与工程质量。(1)综合运用多种地质探查手段。地质测绘可宏观掌握区域地质构造、地层岩性及岩溶发育的大致规律，为后续详细探查提供方向指引。物探方法丰富多样，电法勘探能依据地下岩土体的电性差异，探测岩溶的分布位置与规模；地震波法通过分析地震波在地下介质中的传播特性，判断地下地质结构。而钻探则能直接获取地下岩土样本，准确查明岩溶的具体形态、深度、填充情况等详细信息，多种方法相互印证，提高地质探查的准确性。(2)科学合理确定孔位。依据地质探查结果和设计要求，结合岩溶发育特征与工程需求，遵循均匀分布、重点加密的原则。在岩溶发育强烈、地质条件复杂区域，适当增加孔位密度，确保注浆范围能有效覆盖岩溶发育区域。同时，考虑周边环境因素，避免孔位布置对地下管线、周边建筑物等造成不利影响。(3)精准进行孔位定位与标记。利用高精度的测量仪器，如全站仪、GPS等，严格按照设计坐标进行孔位定位，将孔位偏差控制在极小

范围内。定位完成后，设置明显且持久的标记，如埋设钢筋桩并系红布条，同时做好记录，防止施工过程中孔位被破坏或混淆。

3.3 钻孔与注浆管安装技术要点

钻孔与注浆管安装作为岩溶注浆处理施工的核心环节，其技术质量直接关乎注浆成效与工程整体质量，必须严格把控各项技术要点。(1)精准选择钻孔设备与工艺。依据工程所在地的地质条件、设计孔径及孔深要求，合理挑选钻机类型。在软土地层中，回转式钻机凭借其较低转速和较大压力，能有效防止孔壁坍塌，保障钻孔质量；而在坚硬岩石地层，冲击式钻机则可凭借强大的冲击力提高钻进效率。钻孔过程中，要密切监控钻进速度、钻压、扭矩等参数，根据地层变化及时调整，确保钻孔垂直度偏差在规定范围内，保证孔径均匀、孔壁光滑，为后续注浆管安装和注浆作业创造良好条件。(2)规范注浆管安装操作。注浆管材质应满足强度和耐腐蚀要求，长度根据孔深精确确定。安装时，要将注浆管缓慢、垂直插入钻孔，确保底部准确到达设计深度，并在孔内保持居中状态。为防止注浆过程中浆液外溢，注浆管与孔壁间需采用水泥砂浆等材料进行严密封堵，封堵长度要符合设计要求，保证注浆时浆液能集中注入目标区域。(3)严格进行安装检查与保护。注浆管安装完成后，要仔细检查其连接是否牢固、位置是否准确、封堵是否严密。在后续施工过程中，采取有效防护措施，避免注浆管受到碰撞、挤压而损坏或移位。

3.4 浆液制备与注浆作业技术要点

浆液制备与注浆作业是岩溶注浆处理施工的关键步骤，对填充岩溶空洞、加固地基起着决定性作用，需严格遵循技术要点。(1)精准把控浆液制备。依据工程地质条件与设计要求，科学确定浆液配比。选用质量合格的水泥、外加剂等原材料，严格按照配比将水泥等干料倒入搅拌桶，开启搅拌设备充分混合均匀后，再缓慢加水并持续搅拌。控制搅拌时间与速度，使浆液具备良好的

流动性、稳定性和适宜的凝结时间，同时，实时检测浆液的比重、黏度等指标，根据实际情况及时调整配比，确保浆液性能符合施工标准。(2)规范开展注浆作业。注浆前，再次检查注浆设备、输送管道及注浆管连接情况，确保无泄漏、堵塞。根据岩溶发育情况和设计要求，选择合适的注浆方式，如纯压式或循环式。注浆过程中，密切关注注浆压力、流量变化，依据压力和流量适时调整注浆参数，保证浆液均匀、连续注入。当达到设计注浆量或注浆压力持续稳定一段时间后，可结束注浆。(3)做好作业过程监控与收尾。安排专人观察地面及周边建筑物反应，若出现异常及时停止注浆并分析处理。注浆完成后，及时清洗设备和管道，防止浆液凝固堵塞，为后续施工做好准备^[4]。

结束语

在岩溶发育区域开展岩溶注浆处理施工，是一项复杂且极具挑战性的工作。从施工准备阶段的细致规划，到地质探查与孔位定位的精准把控，再到钻孔、注浆管安装以及浆液制备与注浆作业的严格实施，每一个环节都紧密相连、缺一不可。只有严格遵循各项施工技术要点，才能有效填充岩溶空洞、加固地基，保障工程的安全性与稳定性。未来，随着技术的不断进步与创新，岩溶注浆处理施工技术将更加成熟、高效，为岩溶地区工程建设提供更坚实可靠的技术支撑，推动基础设施建设迈向新高度。

参考文献

- [1]梁沫.岩溶路基注浆加固施工技术[J].科技与企业,2022(2)123-124
- [2]杨青阳.浅析岩溶路基注浆地段注浆处理[J].建筑工程技术与设计,2022(4).165-166
- [3]余贵廷.岩溶路基注浆施工技术探讨[J].江西建材,2022(10)178-179
- [4]赵发燕.道路路基施工的重要性及施工技术要点分析[J].黑龙江交通科技, 2021, (9) : 67-680.