

地下工程应用水泥注浆施工方法

蒋成伟¹ 职 瑞² 江晓星³

1. 南京市江宁区江宁街道水务管理服务站 江苏南京 211100

2. 南京市江宁区秣陵街道水务管理服务站 江苏南京 211100

3. 南京市江宁区湖熟街道水务管理服务站 江苏南京 211100

摘要：一种地下工程应用水泥注浆施工方法，属于水泥注浆技术领域，该地下工程应用水泥注浆施工方法包括下列施工步骤：在地表固定注浆设备；计量地面与注浆目标区域距离，将该距离进行等距分割；在每个分割区域设置注浆平台，在注浆平台上进行放置注浆连接设备，每各分割区之间的注浆连接设备之间采用管道进行连接；向注浆管道内部开始进行注浆，每各分割区的注浆压力随着分割区的深度增加进行递增；在注浆完成后的水泥层上放置沙土，沙土上防止重物进行施压；该施工方法在地下工程深度较大时，通过进行深度分割施工，可改善通过初始压力过高的问题，充分保护注浆设备。

关键词：地下工程；水泥注浆；施工方法

一、背景技术

由于理论研究的滞后，注浆参数的选取缺乏严密的理论支持，在遇到差异性较大的地层或性能变化较大的注浆材料，施工时就容易出现较大误差，轻则造成材料、工期和成本的浪费，重则会造成严重注浆质量问题。遇到重大工程都需要进行大量的现场实验来确定注浆设计参数。特别是，近年来随着矿山建设和开采深度的不断增加，注浆深度已经达到1000~2000m的水平，深立井施工时，施工环境狭窄，排水困难，对堵水要求尤其严格。在这么大的深度注浆时，若再采用地下水压力的倍数确定注浆压力，将给注浆设备造成巨大负担，也会大大的增加注浆成本，这样选取的不科学性更加明显。比如煤矿井筒地面预注浆深度达到2000m时，若按照规范取值，注浆压力将高达50MPa以上（按2.5倍静水压力计算），已经超过煤系地层一些岩石的抗压强度，会造成注浆困难、岩层发生劈裂破坏等诸多问题。很显然，按照流体力学理论，不应简单采用地下水压力的倍数选取注浆压力。

二、技术方案

提供一种地下工程应用水泥注浆施工方法，用于改善地下工程水泥浇筑的高压力作业环境。

为实现上述目的，本方法提供如下技术方案：一种地下工程应用水泥注浆施工方法，该地下工程应用水泥注浆施工方法包括下列施工步骤：

S1、在地表固定注浆设备；

S2、计量地面与注浆目标区域距离，将该距离进行等距分割；

S3、在每个分割区域设置注浆平台，在注浆平台上进行放置注浆连接设备，每各分割区之间的注浆连接设备之间采用管道进行连接；

S4、向注浆管道内部开始进行注浆，每各分割区的注浆压力随着分割区的深度增加进行递增；

S5、在注浆完成后的水泥层上放置沙土，沙土上放置重物进行施压。

优选的，所述每层分割区之间的间距与整体注浆深度之间的比例为1:5~1:8。

优选的，所述S3中连接管道内部设置搅拌结构，每个搅拌结构设置处设置增压装置。

优选的，所述搅拌结构包括管道内部螺旋结构，螺旋结构上连接驱动转动的驱动电机。

优选的，所述初始注浆压力为0.1MPa，每个分割区域内增压递增量为0.1MPa。

优选的，所述S5中沙土的厚度为水泥层的厚度比为1:5。

三、具体实施方式

参考图1，下面将结合附图对本方法实施例的地下工程应用水泥注浆施工方法作详细说明。

该地下工程应用水泥注浆施工方法包括包括下列施

工步骤:

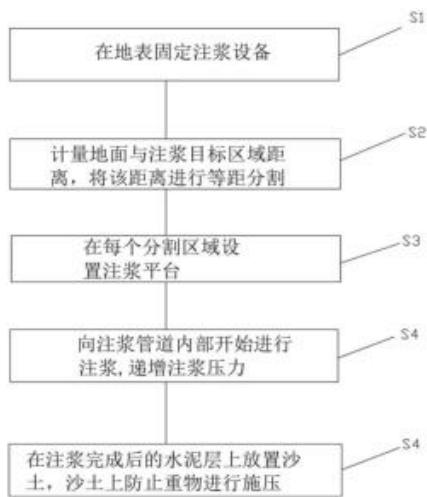


图1 种地下工程应用水泥注浆施工方法的步骤示意图

S1、在地表固定注浆设备, 在地表固定注浆设备时, 首先对地面进行清理, 清理包括地面积水, 清除树根、杂草、表层淤泥, 在清理完成后, 截取一段干净平整区域, 将注浆设备放置在平整区域内部, 采用固定螺栓进行固定, 并且在平台底部固定十字埋入支架;

S2、计量地面与注浆目标区域距离, 将该距离进行等距分割, 根据实际施工场地的所需浇筑距离, 对距离进行等分, 等分的距离不小于浇筑距离的1/3, 在每个等分距离处进行开挖, 在上下左右空间处构建防倾倒支架, 防倾倒支架内部螺丝固定减震结构, 可以是橡胶类材料, 保证在防倾倒支架内部的工作机器在工作中, 进行减震, 防止在机器工作时, 对于开挖的工作区域进行振动倒塌;

S3、在每个分割区域设置注浆平台, 在注浆平台上进行放置注浆连接设备, 其中注浆连接设备采用河南精恒机械设备有限公司制作, 型号为BW150的注浆机进行注浆连接, 每各分割区之间的注浆连接设备之间采用管道进行连接, 将注浆平台螺丝固定在上述防倾倒支架内部, 连接管道穿过每个开挖区域, 在穿过时, 将连接管道进入土壤内部处开设多个气孔, 在水泥经过连管道时, 水泥浆液沿气孔进入连接管道周围的土壤内部, 增强土壤的稳定性和抗变形能力, 提高承载能力, 防止开挖区域上下倒塌;

S4、向注浆管道内部开始进行注浆, 每各分割区的注浆压力随着分割区的深度增加进行递增, 水泥浆进入连接管道后通过气孔进入土壤中, 对松软的土壤进行强化, 水泥浆干燥后成为土钉, 提高连接管道的抗倒性, 且在连接管道进入深层土壤后, 增加连接管道的抗压性,

当注浆管充满水泥浆后停止注浆。注浆压力越大, 进入注浆管周围土壤中的水泥浆就越多, 土层的承载能力就更强, 但需要消耗较多的水泥浆, 且注浆时间较长, 注浆泵的运行功率更大; 注浆压力较小时, 进入注浆管周围土壤中的水泥浆较少, 对土壤的强化效果较差, 因此, 需要设置合适的注浆压力, 因此在注浆时, 通过在深度增大的基础上, 进行注浆压力提高, 可不影响水泥注浆的进行, 同时在地下工程深度较大时, 可改善通过初始压力过高的问题, 充分保护注浆设备;

S5、在注浆完成后的水泥层上放置沙土, 沙土上放置重物进行施压, 在水泥层上平铺沙土, 并通过重物施压, 重物与沙土表面, 防止水泥层损坏, 同时将水泥层内部的气孔进行挤压释放, 提高水泥浇筑层的致密性。

具体的, 每层分割区之间的间距与整体注浆深度之间的比例为1 : 5 ~ 1 : 8。

具体的, S3中连接管道内部设置搅拌结构, 每个搅拌结构设置处设置增压装置。

具体的, 搅拌结构包括管道内部螺旋结构, 螺旋结构上连接驱动转动的驱动电机。

在上述实施例, 螺旋结构为螺杆, 螺杆上端与驱动电机之间采用锥形齿轮连接, 驱动电机位于连接管道外部, 注浆连接设备将水泥进行输送, 通过连接管道输送至不同注浆平台, 在经过连接管道时, 通过增压装置进行增压, 增压装置采用市场可购买的管道增压泵。

具体的, 初始注浆压力为0.1Mpa, 每个分割区域内增压递增量为0.1Mpa。

具体的, S5中沙土的厚度为水泥层的厚度比为1 : 5。

四、质量控制

1. 事前控制: 材料配比与工艺参数的精确预控

深部注浆的质量首先源于精确的事前设计与试验。质量控制的第一步是采用“正交试验法”等科学方法, 在施工前对水泥浆液的水灰比、外加剂掺量等关键参数进行多组配比试验。研究证实, 对于特定地层, 存在一个“最优配比”, 例如在密实细砂层中, 特定配比的浆液可实现更优的渗透-劈裂扩散效果。施工前, 必须根据地质勘探报告, 在实验室和现场试验段反复验证浆液配比, 确保其具备设计要求的流动性、凝结时间及结石体强度。对于您的方案, 尤其需要明确“每个分割区域内增压递增量”的设定原则(如固定的0.1Mpa或根据地层参数动态调整), 这直接关系到“等距分割”方案能否科学实现压力平衡。

2. 过程控制：工序精细化与施工参数动态调控

1) 施工作业的标准化作业：必须将注浆作业拆解为钻孔清孔、管道连接、压力调节等精细化工序，并编制图文并茂的作业指导书。针对您的技术特点，指导书应明确规定“连接管道内部搅拌结构”的启动时机与搅拌速度，以及从深层分割区向浅层进行“递增”注浆压力时，压力转换点的判断标准（如注浆量或压力表读数）。现场人员需严格按照指导书进行“标准动作”操作，杜绝随意性。

2) 注浆参数与扩散模式的协同控制：您的方案旨在通过分段增压避免地层劈裂，这与行业“低压缓注”以保护环境的原则一致。过程控制中，必须严格监测每个分割区的注浆压力与注浆速率。研究表明，注浆压力与上覆荷载、土层含水率呈线性增长关系，现场应根据监测数据动态调整增压值。同时，应关注浆液扩散模式，确保深层以渗透、压密扩散为主，避免过早劈裂导致绕流和加固失效。

3. 事后检验与主动管理

1) 智能化检测与效果评估：注浆质量具有隐蔽性，必须依赖有效的检测手段。应在方案S5步骤（覆盖施压）前，采用无损检测技术对关键分割区的水泥结石体密实度进行检测。目前，行业内已引入FGM电离子检测、隧道智能检测车等新技术，以实现对接浆体质量更准确、快速的评估。

2) 制度化与人员激励：质量控制最终由人实现。应创新推行质量管理“积分制”和“红黑榜”，将检测结果与班组及个人绩效直接挂钩。对于您方案中涉及的多层

次平台作业，可以设立“工序质量分”，对每个分割区平台的管道连接质量、压力控制精度等进行考核，形成“比学赶超”的氛围，从根本上调动全员主动保障施工质量的积极性。

五、有益效果

通过根据实际施工场地的所需浇筑距离，对距离进行等分，在每个等分距离处进行开挖，并在每个开挖区域内部放置注浆设备，在注浆时，通过在深度增大的基础上，进行注浆压力提高，可不影响水泥注浆的进行，同时在地下工程深度较大时，可改善通过初始压力过高的问题，充分保护注浆设备。

参考文献

- [1] 梁思彦. 我的班组“神操作”创新工法，严控质量，让高原工程植入“强筋健骨”[EB/OL]. (2025-12-18) [2025-12-23]. 长江三峡集团.
- [2] 陈斌，来弘鹏，刘禹阳，等. 密实细砂层地铁暗挖隧道新型超前加固材料性能及注浆参数研究[J]. 岩土工程学报，2025，47（7）：1432-1442.
- [3] 陈鹏，王先明，周安琦，等. 盾构隧道水泥-水玻璃双液同步注浆研究及应用[J]. 铁道科学与工程学报，2024，21（12）：5163-5174.
- [4] 黄刚. 富水粉细砂地层暗挖大断面地铁隧道地下水综合控制措施研究[J]. 江西建材，2024（1）.
- [5] 中国工程建设标准化协会. T/CECS 563-2018 盾构法隧道同步注浆材料应用技术规程[S]. 北京：中国计划出版社，2018.