

工程地质中的地下水问题研究

陈少林 詹坚鑫

中水珠江规划勘测设计有限公司 广东 广州 510610

摘要：工程地质领域中地下水的活动状态直接关联场地岩土体稳定性能，是各类地质病害发育的核心诱因。结合不同赋存类型地下水的空间分布特征，梳理岩土介质、地质构造与自然环境要素对地下水体系的调控作用，本文从水岩相互作用的微观过程切入，拆解地下水诱发岩土劣化、渗流破坏、地基失稳等问题的内在逻辑，明确水环境变动、渗流场扰动对工程地质条件的改造规律，提出适配场地实际的渗流阻隔、岩土改良、水动力调控及长期运维技术路径，为工程场地地下水风险管控提供可落地的实操参考。

关键词：工程地质地下水；水岩相互作用；渗流防控；岩土体稳定性；水文地质调控

引言：在各类工程建设的全周期推进过程中，地下水始终是影响场地安全与结构稳定的关键要素。不同区域的水文地质条件存在显著差异，地下水与岩土介质的相互作用过程隐蔽且复杂，稍有疏漏便可能引发难以预判的工程隐患。从场地实际水文地质特征出发，逐层梳理地下水活动与地质体响应的关联逻辑，厘清各类工程地质问题的发育脉络，才能为后续的风险防控与治理工作筑牢扎实的认知基础。

1 工程场地地下水赋存特征与水文地质条件

1.1 地下水基本赋存类型与空间分布特点

工程场地内地下水可按照赋存介质与埋藏条件划分为孔隙水、裂隙水与岩溶水几类，不同水体类型的埋藏深度、分布范围存在明显差异。孔隙水多储存于松散土层颗粒间隙内部，整体分布形态较为均匀，连续性较强，广泛存在于粉质土、砂层与碎石土层之中，埋藏深度多集中在2~15m区间。裂隙水依附岩体构造裂隙、风化裂隙发育，分布状态具备明显的不均匀性，仅在裂隙发育连通区域形成富集水体，发育深度普遍可达20~50m。岩溶水发育于碳酸盐岩地层的溶槽、溶洞与溶蚀裂隙中，空间分布离散性强，含水介质通道复杂多变^[1]。各类地下水在场地竖向地层中呈现分层分布的状态，浅层地下水埋藏较浅，受地表环境干预明显，深层地下水封闭性更好，水体状态更为稳定，构成场地基础水文地质格局，深浅层水体竖向分层厚度差值最高可达30m以上。

1.2 岩土介质结构对地下水储集与渗流的控制作用

岩土介质的颗粒组成、孔隙结构与密实程度，直接决定地下水的储集容量与渗流运动状态。松散土体孔隙

连通性好，透水能力更强，可为地下水储存与运移提供充足空间，储水性能更为优越。密实度较高的致密土层孔隙狭小、连通性差，透水能力大幅减弱，对地下水的渗透运动形成明显阻隔。岩体介质的完整度同样影响水体活动，完整岩体内部孔隙稀少，难以储存水体。风化岩体与破碎岩体内部裂隙发育，能够汇集地下水并形成渗流通道。岩土介质自身的结构差异，直接划分出场地透水层与隔水层，调控地下水的储存空间与运移路径。

1.3 地质构造对地下水水文环境的影响机制

场地内部褶皱、断层与节理构造会重塑地层结构，改变区域地下水的原有水文环境。断层破碎带岩体松散、裂隙贯通性好，可形成区域性地下水富集带与优势渗流通道。断层胶结密实区域结构致密，能够阻隔水体运移，形成局部水文阻隔界面。褶皱构造通过改变地层产状，引导地下水沿岩层倾斜方向汇集、径流，改变水体空间分布形态。密集节理网络会提升岩体整体透水性，扩大地下水的活动范围。各类地质构造通过改造地层渗透条件，重塑场地地下水的径流、富集与排泄条件。

1.4 自然环境下地下水动力环境的变化规律

自然环境要素的持续变动，会驱动地下水动力环境产生阶段性演化。大气降水入渗补给可提升场地地下水水位，扩充含水层储水量，改变水体渗透势能。地表径流的侧向补给与排泄，会动态调整区域水体收支平衡，干预地下水径流速度。温度、湿度的季节性波动，改变岩土体蒸发蒸腾强度，造成浅层地下水水量出现周期性增减。长期自然环境演变，会缓慢调整含水层水力梯度，让地下水渗流速率与运移方向产生细微改变，维持

场地地下水动力体系的动态演化过程。

2 地下水诱发的主要工程地质问题及形成机理

2.1 地下水浸润引发岩土体物理性质劣化问题

地下水长期浸润作用会持续改变岩土体的基础物理性状,打破岩土介质原始稳定状态。松散土体受水体渗透浸泡后,颗粒间胶结物质逐步软化、溶解,颗粒粘结强度持续降低。土体含水率持续上升会抬升孔隙饱和度和,压缩内部气体空间,造成土体容重、压缩性发生改变,整体承载性能逐步弱化。硬质岩体长期处于水环境中,表层结构会出现软化松散现象,细微裂隙逐步扩张延展^[2]。岩土体抗变形、抗剪切能力随浸润时长持续衰减,整体力学性能持续下滑,为各类地质病害的产生提供基础条件。

2.2 渗流作用导致岩土体结构稳定性下降问题

地下水持续渗流运动可带动岩土介质内部细小颗粒发生迁移流失,逐步破坏岩土体原生结构完整性。地下水在孔隙、裂隙通道内持续流动,会对孔壁、裂隙壁产生持久冲刷拖拽作用。土体内部微细土颗粒随渗流水体迁移运移,逐步形成细小空洞与贯通孔隙,岩土体内部结构愈发疏松。岩体裂隙内部充填物质被水流冲刷剥离,裂隙贯通程度不断提升,透水性能持续增强。结构内部缺陷不断发育扩张,岩土体整体整体性被持续破坏,固有结构稳定性逐步降低。

2.3 地下水动态波动引发的地基稳定性问题

场地地下水水位的升降波动,会反复改变地基岩土体的含水状态与受力条件。水位抬升阶段,地基土层被水体充分浸润饱和,承载土层压缩性提升、抗剪强度降低,地基整体承载储备持续下降。水位下降阶段,土层内部孔隙水压力逐步消散,有效应力重新分布,土层产生固结压缩变形。水位反复浮动会让地基土体交替处于饱和、失水状态,不均匀压缩变形持续累积。长期动态循环作用下,地基易出现持续性沉降变形,扰动场地地基的稳定受力状态。

2.4 水岩耦合作用造成的岩体结构持续损伤问题

水体与岩体长期耦合接触,会通过物理、化学双重作用持续损伤岩体结构。地下水内含的各类离子成分会与岩体矿物发生化学反应,溶蚀岩体内部胶结结构,弱化矿物颗粒联结强度。水体反复渗入岩体裂隙内部,通过软化、蚀变作用拓宽裂隙发育范围,加深结构破损程度。环境温度与水动力的持续变化,会加剧裂隙开合幅度,推动微细裂隙逐步贯通发育。岩体损伤呈现渐进式累积特征,结构完整性不断衰减,最终造成岩体整体力

学性能与结构稳定性持续劣化。

3 地下水影响工程地质环境的作用机制与影响规律

3.1 水环境变化对岩土体强度特性的影响机制

场地水环境出现干湿、饱水状态更替时,岩土体内部微观结构会发生持续性改变,强度指标产生规律性衰减。水体渗入土体孔隙后,孔隙内部毛细作用力出现改变,颗粒间咬合摩擦力逐步降低。胶结物质遇水软化、溶蚀,颗粒联结紧密程度持续下降,土体抗剪强度与抗压强度逐步衰减。岩体裂隙吸纳水体后,裂隙壁面摩擦阻力减小,结构面约束能力持续减弱^[3]。反复干湿交替的水环境会加剧微观结构损伤,让岩土体强度参数出现不可逆衰减,改变岩土体固有承载与抗变形能力。

3.2 渗流场扰动对地质体应力状态的改变规律

地下水渗流场出现分布与势能变化时,地质体内部孔隙水压力随之调整,重塑地层有效应力分布状态。稳定渗流环境下,水体沿固定通道运移,应力分布保持相对平衡。渗流路径与水力梯度发生改变后,孔隙水压力在局部区域积聚或消散,打破原有应力平衡体系。高水压区域会降低岩土体有效固结应力,弱化结构约束能力。低水压区域土体快速固结压实,局部应力出现集中堆积。渗流场的动态调整持续改写地质体内部应力分布格局,诱发地层应力重分布现象。

3.3 长期水蚀作用对地层整体结构的弱化机制

地下水长期物理冲刷与化学溶蚀,会从微观至宏观逐层弱化地层整体结构稳定性。微弱水流长期冲刷岩土内部孔隙,持续带走细小填充颗粒,让孔隙孔径逐步扩大,地层孔隙率持续提升。水体化学组分与地层矿物发生持续性反应,溶蚀岩体内部骨架结构与土体胶结组分,形成大量微细空洞与次生裂隙。各类微观缺陷持续发育扩张,会贯通形成宏观破损带。地层整体性与密实度逐步下降,结构承载体系变得松散脆弱,地层整体稳定性能持续走低。

3.4 地下水动力变化对工程地质条件的改造规律

地下水动力参数的动态演变,会持续改造场地原始工程地质条件,改变地层受力与变形基础属性。水位升降会调整含水层厚度与饱水范围,改变岩土体自重应力与渗透特性。水动力强弱变化会调整渗流冲刷能力,控制地层颗粒迁移与结构破损速率。长期水动力演化会重塑场地透水层、隔水层的实际工作状态,让原有稳定的地质环境出现持续性改变。各类水文参数的动态演变,逐步完成对场地工程地质条件的渐进

式改造。

4 工程地质地下水问题的防控思路与治理技术路径

4.1 地下水渗流阻隔与水系疏导的防控原理

地下水引发的地质病害大多依托渗流运移与水体富集发育,水体长期滞留、无序渗透是岩土结构劣化的主要诱因,渗流阻隔与水系疏导可从水源运移层面切断病害发育条件。渗流阻隔依托人工防渗结构封堵地层优势渗流通道,阻断外围地下水向工程场地内部的渗入路径,缩减场地含水层的水体补给来源^[4]。防渗结构依托自身致密材质特性,阻挡孔隙、裂隙水体的横向与竖向渗透,削弱水动力对岩土体的持续冲刷作用,减少细微颗粒流失与结构松散化现象。水系疏导遵循场地原有水文走势布设多级排水体系,引导场地内部富集水体有序排出,降低局部水位高度与孔隙水压力。滞留水体得到有效疏解后,地层饱水状态得到持续改善,渗流水体对岩土结构的侵蚀、改造作用持续减弱,实现从运移路径上管控地下水地质危害的治理目标。

4.2 岩土体抗水损、抗渗劣化的改良方式

岩土体水敏性特质是地下水诱发结构劣化的内在诱因,原生土体与岩体普遍存在孔隙、裂隙发育问题,遇水环境后力学性能容易衰减,通过人工改良手段可提升岩土介质自身抗水损伤能力。针对松散土体结构疏松、抗渗性差的特点,可采用压实加固、胶结补强的处理方式,填充土体内部孔隙,提升颗粒密实度与胶结强度,削弱水体渗透浸润对土体结构的破坏作用,抑制土体软化、沉降变形。针对破碎岩体裂隙发育、易被水蚀破损的问题,可采用注浆填充技术封堵内部裂隙空洞,固化岩体松散结构,减少水体渗入通道,阻断水岩物理、化学作用的发育条件。改良处理后的岩土体孔隙连通性大幅降低,水体难以渗入介质内部引发软化、溶蚀与颗粒迁移问题,岩土体强度与结构稳定性可长期保持稳定状态。

4.3 工程场地地下水动力环境的调控策略

场地地下水水位、水力梯度与渗流速度的无序变动,会持续扰动地质体应力状态,破坏地层原有应力平衡,诱发各类岩土变形与结构失稳问题。地下水动力环境调控以稳定水文参数、弱化水动力扰动为核心,重塑场地规整、有序的水文运行体系。针对水位异常波动区域,布设稳压排水结构,弱化降水与补水过程带来的水位骤变问题,维持含水层水位相对平稳,减少岩土体反

复干湿交替产生的结构损伤。针对局部水力梯度过大引发的强渗流区域,通过防渗分区、导水减压的方式分散渗透压力,放缓水体运移速度,减轻水流对结构面的持续冲刷。规整后的水动力环境可减少孔隙水压力反复变动带来的应力重分布现象,降低渗流冲刷与水压扰动对地层结构的持续损伤。

4.4 地质体水环境稳定性的长期维护方法

工程场地水文地质环境处于持续动态演化状态,自然气候更替、地层缓慢形变都会改变地下水的补给与运移条件,短期治理措施无法适配长期工程服役需求,需要建立常态化水环境维护体系。定期排查场地地下渗流通道、排水体系运行状态,及时疏通堵塞排水结构,清理淤积杂物,规避局部水体淤积富集的问题。持续监测地层含水率、水位变化与岩土体结构状态,针对细微水蚀损伤与结构松动提前开展修复处理,阻止微小病害持续发育扩张。结合场地水文演化规律,动态优化防渗与排水体系布局,适配自然环境与地层结构的缓慢变化^[5]。常态化维护可长期维系地质体水环境平衡,持续抑制地下水诱发的各类地质问题,保障工程地质结构在全服役周期内保持稳定状态。

结束语

从赋存特征梳理到病害机理拆解,再到防控技术路径的搭建,整套逻辑始终围绕场地实际水文运行规律展开。通过渗流疏导、岩土改良与常态化运维的协同作用,可逐步消解地下水对工程地质环境的持续侵蚀,让场地水文体系长期维持在平稳可控的状态。这套思路适配不同类型工程场地的实际需求,能为现场施工与长期服役阶段的地质安全保障提供切实支撑。

参考文献

- [1] 周杰. 水利工程中的工程地质问题探析 [J]. 工程建设与设计,2024(19):111-113.
- [2] 崔帅帅, 陆笔锋. 环北广西工程输水管道主要工程地质问题及对策 [J]. 广西水利水电,2025(6):16-18,23.
- [3] 刘天成. 水文工程地质勘察问题分析及对策措施 [J]. 砖瓦世界,2022(20):217-219.
- [4] 鹿传磊, 刘占辉. 岩土工程水文地质勘察技术研究 [J]. 工程技术研究, 2022,7(7):96-98.
- [5] 黄晓明. 岩土工程勘察中水文地质应用探索 [J]. 西部资源,2021,(06):102-103+106.