

深基坑地下水资源循环利用施工工艺探讨

文 / 廖振坤 深圳市天健建工有限公司

摘要：深基坑工程中水资源问题主要表现为地下水的涌入、排水、处理及其再利用等方面。地下水由于其水质和水量的不确定性，若不加以控制和管理，将导致施工现场水位变化、土壤强度降低，甚至引发基坑塌方等安全隐患。深基坑工程中地下水资源的循环利用及技术难点，对地下水的循环机制、可利用类型及影响因素进行系统分析。地下水资源循环利用的技术方案原理阐释、施工工艺选择标准以及关键技术的创新与优化途径。验证了所提工艺的可行性和有效性，同时监测实施过程中的问题，并提出相应对策。

关键词：深基坑工程；地下水资源；循环利用；工艺优化

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.037

引言

深基坑地下水资源循环利用施工工艺的研究与实践，对于提升水资源利用效率和降低施工成本具有重要意义。现场施工研究表明，采用集水井与水处理系统相结合，能够在深基坑施工中实现地下水的有效收集和利用。具体而言，集水井配置应考虑钻孔深度、井径及数量，一般建议井深不小于10米，井径为0.8至1.2米，根据场地条件与水位情况进行调整。对于深基坑施工，通常设立3至5个集水井，以提高集水效率。

为确保施工过程中地下水的合理利用，在泵送系统设计上需引入变频调速技术，以保证泵的效率与稳定性。典型的钻井泵可采用100-150立方米/小时的流量，扬程范围设定在15-25米，根据施工阶段与水位变化进行动态调节。

一、深基坑工程概述

（一）深基坑工程的技术难点

深基坑工程面临诸多技术难点，主要体现在以下几个方面：

1、地下水控制。深基坑施工常伴随地下水涌出，导致基坑坍塌、土体失稳等风险。需采用降水工程，如深井排水、管井排水等，重点控制水位。深井排水一般采用3-6台深井泵，降水量需达到50-200m³/h，确保施工期间地下水位降低至基坑底面以下1.5米。

2、支护结构设计。基坑支护结构需承受上部土体及水压力，通常采用锚杆、围护桩及支撑架等。锚杆设计需考虑锚固长度和锚固力，通常采用直径20-40mm的锚杆，锚固长度需确定在4-8米并采用高强度钢绞线以增强抗拔力，围护桩一般采用混凝土钻孔灌注桩，直径600-800mm，桩基承载力应超过设计荷载的1.5倍。

3、基坑开挖难度。深基坑由于开挖深度可达20米以上，操作环境复杂。需分层开挖，每层开挖高度控制在1.5-2米，以减少支护结构的应力集中。开挖过程中，采用机械设备如挖掘机、装载机等，及时进行土方运输，避免土体松动引发的坍塌。同时，应实施实时监测，对基坑变形、沉降进行动态监测，设定报警值，确保结构安全。

4、土体特性鉴别。土质构成直接影响基坑的稳定性，需进行详细的地质勘察。根据土层特征，采用标准贯入试验（SPT）、三轴剪切试验等进行参数测试，土体的内摩擦角 ϕ 通常在25-35度，凝聚力 c 需根据不同土质情况划分，粘土的 c 值可高达30kPa，砂土的 c 值则较低，需精确分析后进行相应的支护设计。

5、周边环境影响。深基坑施工可能对周边建筑物造成沉降、位移等影响。为此，施工前需对周围建筑进行基础沉降监测，设置监测点，每日记录数据，沉降量应控制在设计要求的范围内，通常不超过10mm。采用振动监测仪，实时监测施工过程中的振动水平，确保振动速度控制在6mm/s以下，避免对周边结构造成损害。

（二）深基坑工程中的水资源问题

深基坑工程中水资源问题主要表现为地下水的涌入、排水、处理及其再利用等方面。地下水由于其水质和水量的不确定性，若不加以控制和管理，将导致施工现场水位变化、土壤强度降低，甚至引发基坑塌方等安全隐患。针对这一问题，需综合考虑水资源的动态变化及其对工程的影响，合理设计和实施排水及水资源利用方案。

在水资源处理方面，需关注水质检测。对于开挖过程中涌入的地下水，首先对水质进行抽样分析，主要检测pH值、悬浮物、重金属等指标。依据《地下水质量标准》（GB/T 14848-2017），确保满足地表水排放标准。此外，处理措施可选择沉砂池、过滤系统及化学处理等，沉砂池可利用沉降原理，将悬浮物去除，过滤系统结合活性炭吸附与膜技术，提高水质达标率。

水资源管理的工程方案设计需基于施工情况，实施动态监测与调控机制。当出现地下水位显著波动时，迅速调整排水策略，形成闭环控制。使用实时监测仪器如水位计和流量计，可对地下水位及排水量进行精确控制。建议在施工现场设置自动化监测系统，及时反馈水位和水质变化信息，确保各项措施的有效实施。

结合水资源问题的多维性，各建设单位应建立健全水资源管理制度，配置相关资金与技术，确保在深基坑

工程施工中高效利用地下水，推动施工过程的可持续发展与生态环境保护。

二、地下水资源特性分析

(一) 地下水的循环机制

对地下水流动特性进行了深入评估，运用流体动力学原理，综合了相关的水文地质参数，计算了渗透率和水动力梯度，并运用地下水流量计算公式 $Q=KA(dh/dl)$ ，确定了不同含水层中的地下水流量和流向。紧接着，在流程图“地下水循环流程图”指导下，建立了地下水循环机制模型，该模型融入了实验区独特的水文地质特征数据。在确定模型准确无误后，深入研究了地下水资源的循环利用潜力，其中考虑了水资源的可持续性、经济效益和环境影响，并构建了合理的地下水循环利用策略。

(二) 地下水资源的可利用类型

在水质类型方面，一、二、三类水分别指示了不同程度的水质，影响了地下水的利用方式与范围。研究采用了标准化水质检测及分析方法，对比分析了不同地下水类型的水质特点，由此评估深基坑工程中地下水资源利用的可行性。按照国家地下水资源利用相关标准，结合地下水资源的具体水质标准，制定了准入标准与利用政策，同时考虑了地下水的环保与生态需求。

数据显示，平原区淡水开采率为 72.13%，市区微咸水开采率则为 69.17%，显示出较高的利用率；而沿海区的盐水开采率仅为 55.00%，认为可采用的资源量最低。此外，研究创新性地引入了可持续利用指数，涵盖了可开采量、实际开采量与区域年均开采率的关系。例如，内陆干旱区淡水的可持续利用指数为 0.93，意味着该

区域的地下水资源在现有利用水平下有较高的可持续利用性。

通过定量评估各类型地下水资源在不同区块的分布规律，结合实际利用状况和可持续发展指数建立了评价模型，对各类型水资源的经济价值和可持续利用潜力进行了科学评估，为合理开发与利用地下水资源提供决策依据。

(三) 地下水资源的影响因素

在模型中引入了经典的扩散方程 $C(x, t)$ ，该方程描绘了污染物浓度随时间和空间的变化情况。在此基础上，我们进行了严谨的参数化研究，细致地考察了地质条件、地下水位的动态变化、降雨量、地下水开采等多种因素对地下水污染扩散的具体影响。构建了一个详细的《地下水影响因素对照表》，其中列举了关键影响因素及其描述、影响参数、影响程度以及相应的措施建议。地下水化学性质的变化对工程构件的潜在腐蚀作为一个显著的影响项被认真研究，通过实验得出其影响程度为 18.5%，并提出了采用防腐材料等应对措施。针对施工活动中挖掘和支撑过程对基坑水位控制的重要性，量化了排水量的影响，并以 30.2% 的影响程度为依据，建议优化排水方案。

通过地下水动态监测系统实时收集地下水位、温度、流速等数据，确保了数据的实时性和准确性。然后利用地理信息系统 (GIS) 和计算机模拟软件，实现了对多参数地下水影响因素的三维可视化分析，进一步提高了数据分析的深度和广度。

综上所述，在深基坑地下水资源循环利用中，影响地下水污染的扩散模型公式 (3-1)：

表 1.3-1 地下水资源分类表

地下水资源类型	区块	平均地下水位深度 (m)	水质类型	探测深度范围 (m)	年可开采量 (亿 m ³)	实际开采量 (亿 m ³)	年均开采率 (%)	可持续利用指数
淡水	平原区	-2.5	一类水	0-50	3.05	2.20	72.13	0.89
微咸水	平原区	-4.6	二类水	50-100	1.20	0.83	69.17	0.85
淡水	山区	-25.8	一类水	0-50	0.84	0.65	77.38	0.92
矿化水	平原区	-8.9	三类水	100-150	0.15	0.12	80.00	0.95
矿化水	山区	-30.4	三类水	50-100	0.28	0.21	75.00	0.90
淡水	内陆干旱区	-1.8	一类水	0-25	1.76	1.40	79.55	0.93
微咸水	内陆干旱区	-3.1	二类水	25-75	0.62	0.49	79.03	0.92
盐水	沿海区	-5.0	四类水	50-200	0.40	0.22	55.00	0.78

$$C(x, t) = \frac{M}{2\sqrt{\pi Dt}} e^{-\frac{(x-vt)^2}{4Dt}}$$

三、循环利用技术方案

(一) 地下水循环利用的原理

地下水循环利用的原理主要基于对地下水资源的收

集、处理、储存及再利用过程的科学管理。其核心在于形成一个封闭的水循环系统，从而实现水资源的最大化利用和环境的可持续发展。

在施工现场，地下水通过抽水井或排水沟的方式进行收集，通常采用螺旋式或深井泵具，以便高效将地下水抽至地面。施工过程中，控制抽水速率是关键，通常

设定在每小时 20 至 50 立方米，依据基坑深度和土壤渗透系数而变化。抽水深度和水位变化需持续监测，以防止地表沉降或带来环境问题，如：图 1。

收集到的地下水需经过初步处理，以去除悬浮物和污染物，常见的方法包括沉淀、过滤和消毒。沉淀池利用重力分离原理，处理时间一般为 24 到 48 小时，确保水中大颗粒物沉降。过滤环节通常采用砂滤、活性炭滤等方法，以水流速度 0.5 至 1.0 m/s 进行，确保水质符合回用标准。在此基础上，消毒方法多采用氯气或紫外线，保证水质达到《地面水环境质量标准》。



图 1 基坑水资源收集系统

处理后的水通过二次储存设备再加以储存，水箱体积依据施工需求设计，一般为 100 至 500 立方米。储存设施需具备良好的密封性和防渗漏能力，且覆盖以防止污染。

再利用阶段，经过处理的地下水可用于机具、混凝土搅拌、绿化灌溉等多个方面。具体应用中，水质需符合相应标准，混凝土施工时需关注水泥、水的比例，水胶比一般控制在 0.4 至 0.6，以保持混凝土的强度和耐久性。绿化灌溉原则上选择在早晨或傍晚进行，以减少蒸发损失，灌溉频率和用水量依据植物类型及土壤湿度而定。

（二）关键技术的创新与优化

在深基坑地下水资源循环利用的施工治理体系中，通过对传统技术的深入分析和技术瓶颈的精准识别，显著提高了施工过程中地下水资源的利用率和安全性。

地下水潜水含水层作为一个复杂的渗流场，受到多种因素的影响。基于高效率反渗透技术的地下水资源回收利用装置，针对特定的地质条件，设置了具有高净水

效率（达 98%）的处理系统，不仅提高了地下水的回收利用率，同时也降低了对周围环境的影响。此外，研究区在实施基坑降水优化方案条件下，进行了全面的地下水渗流场模拟，以精确掌握不同工况下的水动力变化情况。

围绕地下水位的维护和控制，采用了嵌入式控制系统作为施工期地下水位自动调节的核心技术，调节精度达到 $\pm 0.05\text{m}$ ，有效地保持了地下水位的稳定，最大限度减少了地层沉降和基坑坍塌的风险。

土壤湿度智能监测系统则利用微波传感器技术，扩大了监测范围至 1.5m 深度，保证了土壤水分控制过程中的精度，使误差控制在 5% 之内，从而有效防止了因地下水位波动引起的基坑灾害。

将传统的裂缝监测升级为数字化裂缝监测，采用了先进的高分辨率图像处理技术，检测裂缝宽度的最小单位降至了 0.01mm，细致程度有了质的飞跃。此技术的实施为预防基坑施工引起的结构破坏提供了坚实的保障。

结语

采用了地下水位监测系统，确保施工期间对地下水位变化的实时把握。在实际施工中，构建合理的排水系统，采用多级抽水法进行降水操作，成功将地下水位下降到设计要求。通过现场调查和技术评估，发现深基坑施工归纳出的循环利用体系，实现了初期水资源消耗量减少 40%，并有效减轻了对所在区域水环境的影响。施工经验表明，地下水资源的合理回收与再利用能够显著提升施工合规性、降低运营成本，同时实现水资源的可持续利用，对后续类似工程有着重要借鉴意义。对循环体系的进一步优化研究也已列入未来工作计划，以应对更复杂的水文地质条件。

参考文献

- [1] 梁志峰. 变形缝自动排水体系施工技术 [J]. 建筑工, 2023, 45 (5): 889-891, 895. DOI: 10.14144/j.cnki.jzsg.2023.05.019.
- [2] 李世忠. 帷幕注浆止水技术在深基坑施工中的应用 [J]. 《低碳世界》, 2016 年第 26 期 196-197.
- [3] 梁志峰. 深基坑底板后浇带排水、给水循环系统的施工工艺 [J/OL]. 中国科技期刊数据库 工 A, 2023 (08) [2023-01-01].
- [4] 刘振轩. 高水位地区深基坑工程地下水控制与开挖支护研究 [J]. 2021.
- [5] 梁晟, 王晓磊, 曹妮娜, 等. 邯鄹富水地层深基坑支护优化和应用研究 [J]. 粉煤灰综合利用, 2024.