

团体标准

《软土深基坑智能控制降水与高效开挖技术规程》

编制说明

2024年01月

《软土深基坑智能控制降水与高效开挖技术规程》编制说明

一、标准制定的必要性

当前我国在城市发展过程中，各大城市都需要进行新区的建设与老区的更新。但随着城市的建设用地愈发紧张的情况下，需要根据已有城市建设经验，提高土地的利用效率。城市建设从原来的平面式扩张转向三维立体式发展，城市地下空间的开发利用受到了广泛的关注。《2021中国城市地下空间发展蓝皮书》指出，截至2020年底，中国城市地下空间累计建设24亿平方米。城市地下空间开发利用呈现规模发展态势，中国已成为名副其实的地下空间开发利用大国。长三角城市群作为我国地下空间开发的东部发展中心，地下空间开发强度位于全国前列，2020年新增地下空间建筑面积占同期城市建筑竣工面积24%。其中《上海市“十四五”规划纲要》提到，要强化集约高效利用土地资源，积极推进土地复合利用，鼓励可兼容功能的立体混合布局。在商业综合体建设中一体化布局是最显著特点，其与城市轨道交通规划紧密联系，因而大量新建建筑物深基坑工程将不可避免的位于地铁车站和隧道附近，当基坑与既有建构筑物距离较近时，由于基坑施工导致的开挖卸荷将引起基坑周围的地表沉降，从而影响周围已有建构筑物的安全。因此控制基坑开挖对周围环境影响及已有建构筑物的影响成为了研究的热点问题之一，施工中也将面临大面积、多区块开挖以及安全要求高的难题。

近年来，新建建筑的基坑呈现出四个显著特点：（1）基坑的尺寸和规模越来越大；（2）基坑的开挖深度越来越深；（3）基坑与周边地上、地下建（构）筑物的距离逐渐减小；（4）基坑工程的施工场地环境越来越密集。通常开挖深度超过30m的基坑可称为超深基坑，超深基坑尤其软土地区40m级以上的超深基坑工程，将面临更大的侧向水土压力、更复杂的工程与水文地质条件、更广范围的环境保护要求，相应对基坑工程的设计与实施提出了更高的挑战。高地下水位软土地区40m级以上超深基坑面临的主要问题有：（1）

深基坑围护结构的防渗漏对策及风险控制问题，40m级深度基坑开挖至基底时，坑内外水土侧压力差已达0.5MPa以上，已接近甚至超过常规水泥土系隔水帷幕的桩身强度，开挖阶段在巨大压力差作用下，围护结构如发生渗漏易引发严重的涌水涌沙，对基坑和环境安全造成极大危害，需采取针对性技术对策；

（2）超深基坑侧向水土压力大幅增长带来的基坑支护结构承载力和变形控制问题；（3）超深基坑将触及无经验可循的更深层承压水处理与环境影响控制的问题；（4）开发及推广适应超深基坑需求的超深围护体、止水帷幕及地基加固等围护新技术新工艺。因此，一方面需在确保基坑安全施工的同时，经济有效地控制由于基坑开挖卸荷过程导致的基坑周边土体位移场和应力场的改变，保护临近地上、地下建（构）筑物的安全；另一方面还需要控制临近的地下空间开发与利用对新建基坑的影响，保护基坑围护结构自身的安全。对于存在周边地上、地下建（构）筑物的新建基坑开挖施工过程中，不但要满足结构的强度控制，还要满足变形控制。上述两方面统一起来可归纳为城市建（构）筑物密集区内地下结构施工的相互影响问题。

由于城市规划密集，用地紧张，导致新建建筑的基坑开挖距离建筑红线和边缘越来越近，周边建（构）筑物的存在引起的荷载会通过基础传递到基坑上，引起新的土应力平衡。与此同时，新建建筑的基坑开挖会导致基坑周边土体位移场和应力场的改变，将对基坑周围的建筑物、道路以及地下管线和隧道的使用功能造成破坏。

超长基坑的开挖施工需基于时空效应原理，将基坑进行分区，并分步递进开挖，一般采用隔离墙进行分区，随挖随拆或后期进行拆除，增加施工成本，且不符合建筑行业的碳减排要求。研究表明，合理利用土体自身在开挖过程中控制位移的能力，可达到科学施工控制变形的目的。在进行超长基坑开挖时，可通过单侧放坡开挖实现超长基坑的分区，省去硬隔离工序，有效地利用未开挖区域土体的自身强度对围护结构的变形提供一定的抗力，稳定周围地层，实现超长基坑的微变形绿色施工。

对深基坑以及地下水位过高的区域开挖时，需要降低承压含水层水头，创造干燥的施工环境，同时要减少顶托压力带来的基坑突涌的风险。长时间连续的降水会导致周围土体的有效应力发生改变，进而引起周围土体的不均匀沉降，严重时还会导致基坑管涌甚至坍塌，所以对地下水位的精细化控制尤为重要，但是由于监测手段的限制，现阶段的监测工作都只能由监测人员组织到施工现场用仪器进行监测，这种监测方式有测量数据不连续、测量误差较大、管理效率低下、信息反馈时间长、消耗人力物力资源、成本较高等缺点。

随着社会不断发展，基坑工程逐渐向大型化、信息化、多样化、系统化、智能化和绿色化方向发展，有效、安全、可控的施工方法越来越受重视，智能降水控制技术和高效开挖技术随着社会的发展，将被越来越多地应用到工程施工中，实现智能化施工。软土地区深基坑的降水与开挖是其关键工序，坑内降水引起基坑变形量总值比较可观，且其引发的围护体变形难以避免，为适应社会发展趋势，确保施工安全与高效，编制《软土深基坑智能控制降水与高效开挖技术规程》，能够顺应我国基坑工程的智能化和绿色化发展的需求，具有重要意义与应用价值。

二、标准编制原则及依据

1) 按照 GB/T1.1—2020《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》要求进行编写。

2) 参照相关法律、法规和规定，在编制过程中着重考虑了科学性、适用性和可操作性。

三、实验情况分析

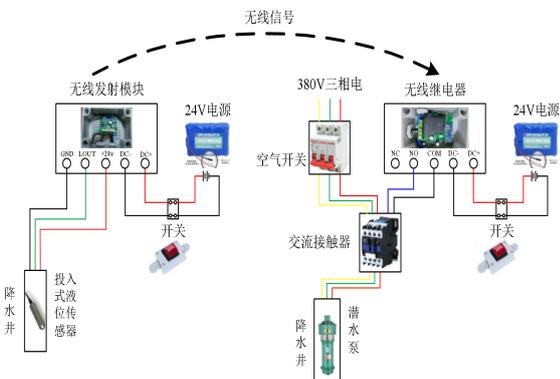
本技术规程涉及内容已在杭州市富阳区秦望通道工程（华东地区最大越江盾构隧道，浙江省首条公铁合建盾构隧道）、杭州望江路过江隧道项目（工作井尺寸37.6m×23.6m，深25.57m，地连墙最深65m）、杭州市艮山东路过江隧道工程（钱塘江流域在建直径最大的盾构隧道）、杭州下沙路隧道工

程（工作井最深33.4m，地连墙最深52m）、南京建宁西路过江通道工程（工作井最宽39.5m，最深45m，地连墙深67m）、苏州桐泾路北延工程（国内首条下穿高铁大直径盾构隧道，苏州最大直径盾构工程）、浙江湖州南浔隧道工程（湖州市首条水下公路隧道）、济南黄河济泺路隧道（黄河上首条公轨合建的交通隧道）等软土深基坑工程中得到应用与验证，并集成了系列技术。

3.1 基于物联网技术的大型超深基坑智能控制降水技术

(1) 针对现有基坑降水常采用人工监测、利用水泵24小时排水的超降排水法存在的技术问题，研发基坑降水井水位和水泵流量自动监测装置，以解决了人工测量的工作量巨大和测量数据不连续等问题。通过物联网技术将数据实时上传至云端，并且用网页端链接云端数据库，将水位流量数据绘制成图表友好地展示给管理员，并且网页界面的展示可以适用各种客户端，如手机端、电脑端等，可以做到随时随地查看和管理远程传回的水位流量数据，如图1所示。

(2) 研发基坑降水井水泵自动控制系统，使其具有调用云端的数据以及读取当地未来天气数据的功能，通过接口将数据上传至控制器，在控制器内进行整理，并利用该数据进行模型的计算和基坑水位预测，借用水库库容的调节思想，以模型计算结果同时结合实时降水井水位和水泵流量数据来确定抽水泵当前的抽水量和未来的抽水量，针对不同的环境基坑降水情况进行模型计算并完成决策。



(a) 基坑降水远程智能控制系统



(b) 远程智能降水系统



(c) 水泵控制系统

图 1 基于物联网技术的大型超深基坑智能控制降水技术

3.2 建立了软土深基坑变形分析理论。

(1) 富水强透水地层控制性降水分析理论

① 采用基坑的一维简化双层地基模型，通过稳定渗流条件下的静孔压和坑外地下水位变化引起的超静孔压叠加的方法求解基坑支护结构两侧的总孔压，进一步求解得到基坑支护结构两侧的竖向有效应力、有效土压力及总侧压力，提出了高渗透性富水地层基于非稳定渗流理论的基坑坑底抗渗流稳定性的计算方法，如图2所示。

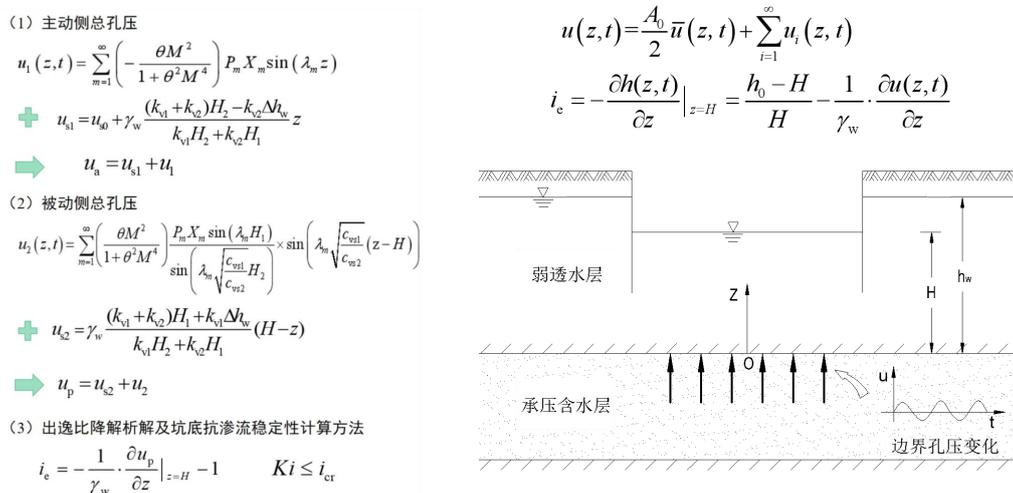


图 2 基于非稳定渗流理论的基坑坑底抗渗流稳定性的计算方法

② 研制了可模拟潜水位和承压水头动态变化的模型试验装置：如图3所示，通过模型箱的侧面水箱和底部承压架空层分别实现潜水位和承压水头动态变化的模拟，通过可调节的内支撑和可移动的防水挡土墙实现基坑开挖过程的模拟，解决了试验中潜水位和承压水头动态连续变化，以及基坑开挖过程的试验模拟问题。

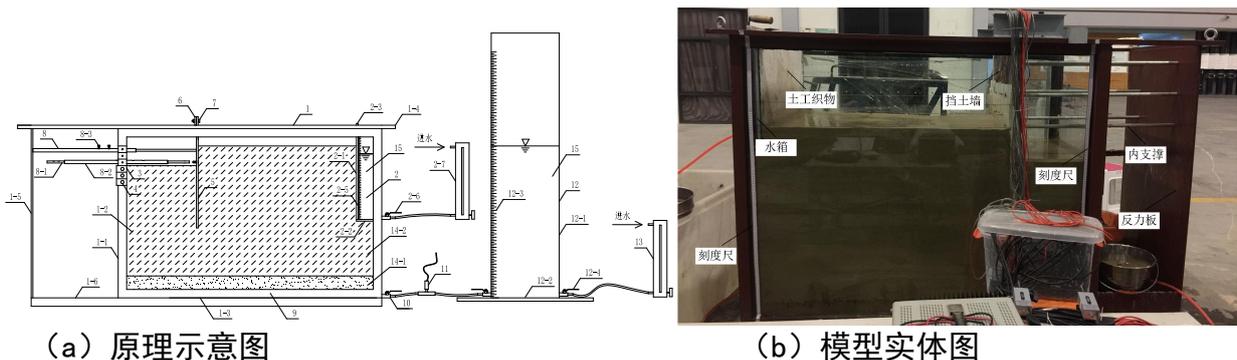
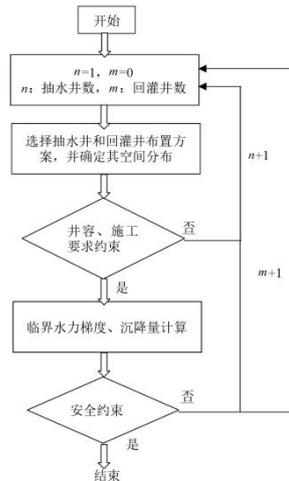
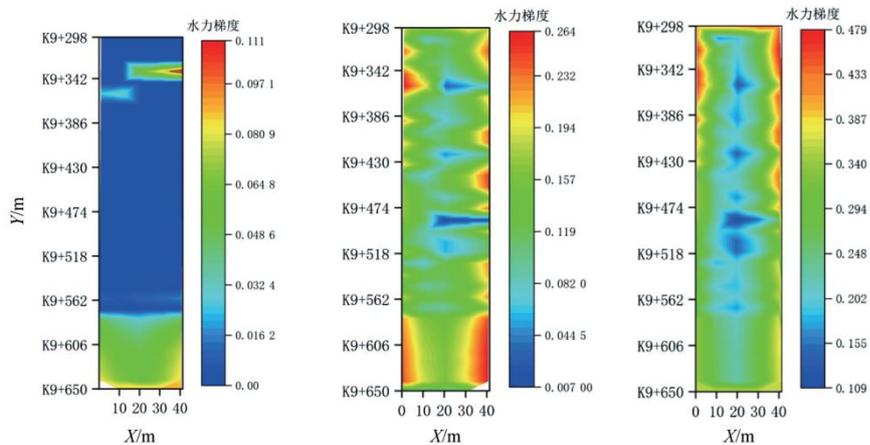


图3 可模拟潜水位和承压水头动态变化的模型试验装置

③ 以临界水力梯度和降水引发周围地表沉降变形的最低要求为约束条件，以不同工序施工过程中动态水位为目标函数，源(汇)的分布、强度为自变量，提出了基于临界水力梯度和沉降双控制的基坑降水优化模型，如图4所示，确保在各工况条件下基坑内不发生渗透变形破坏，且基坑周围地表沉降值不大于地表沉降报警值。



(a) 优化模型的求解过程



(b) 各工况基坑底部水力梯度等值线

图4 基于临界水力梯度和沉降双控制的基坑降水优化模型

(2) 超深超厚地下连续墙承载与变形特性：基于现场动态监测反馈分析，研究分析了软土地层复杂环境条件下深大基坑施工引起的围护结构和周围地层变形规律，拟合确定了归一化地下连续墙变形侧移最大值与围护体系刚度关系图，揭示了软土地区深大基坑开挖过程中围护结构和周围地层的变形机

理，如图5和图6所示。

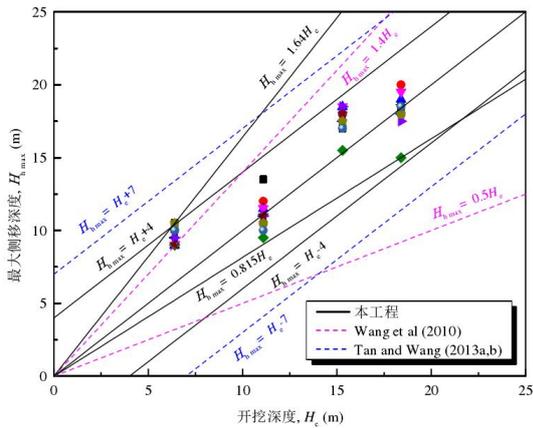


图5 侧移最大值位置与开挖深度之间关系

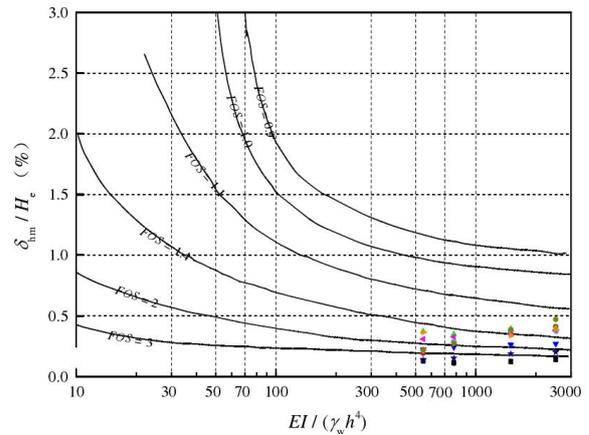


图6 侧移最大值与围护体系刚度关系

(3) 软土深基坑变形分析理论：如图7和图8所示，在现场试验和数值计算的基础上，揭示了深基坑变形及支护结构变形一般性规律，给出了地表沉降、墙体侧移与开挖深度关系的上限值；量化了水位回灌高度对结构变形的影响，并给出地连墙嵌入深度以及横墙竖向高度的最优临界值。

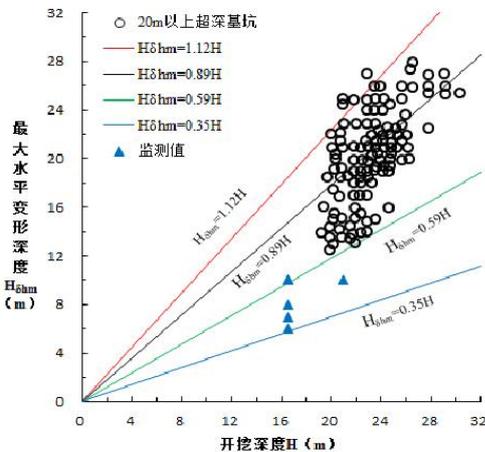


图7 最大变形位置与开挖深度关系图

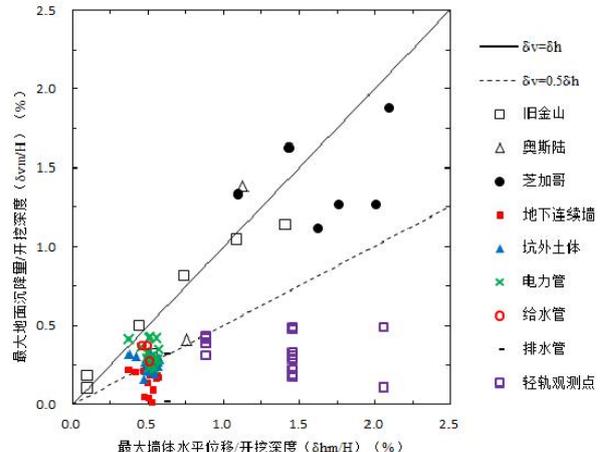


图8 沉降与水平位移与开挖深度关系

3.3 软土深基坑变形控制技术

(1) 高承压水深基坑支护锚杆施工技术

在基坑支护工程中，常采用地下连续墙或钻孔灌注桩结合预应力锚杆的支护结构型式，预应力锚杆对地层要求较高，在砂砾土层中钻进成孔施工时孔壁易坍塌，特别是砂砾土层中存在高承压水时，随着承压水持续不断涌出，使土层中大量颗粒流失，造成坑后沉降及变形过大，影响周边建筑、设施的

安全。为解决高承压水地层中锚杆施工时孔壁易坍塌、承压水持续不断涌出而导致的工程问题，研发了高承压水深基坑支护锚杆施工技术，如图 9 和图 10 所示。

本技术采用钢套管在高承压水砂卵石地层中跟管钻进，有效避免了孔壁坍塌，并隔断了承压水的涌出路径，避免土颗粒的流失；锚杆注浆体外包 PVC 套管，有效提高了注浆体的质量，降低水泥浆的损耗，锚固段带孔 PVC 套管在二次高压劈裂注浆时，浆液穿过孔洞扩散至周边土体中，有效提高了锚杆的锚固效果；锚杆洞口的封堵采用膨胀木塞、速凝快硬材料及墙后注浆的多重堵漏措施，有效解决高承压水中锚杆孔口易渗漏的问题；地下连续墙的钢筋笼上预留钢管、止水板、连接板以及孔口二次封堵注浆管，可以提高锚杆施工速度和增强孔口止水效果。

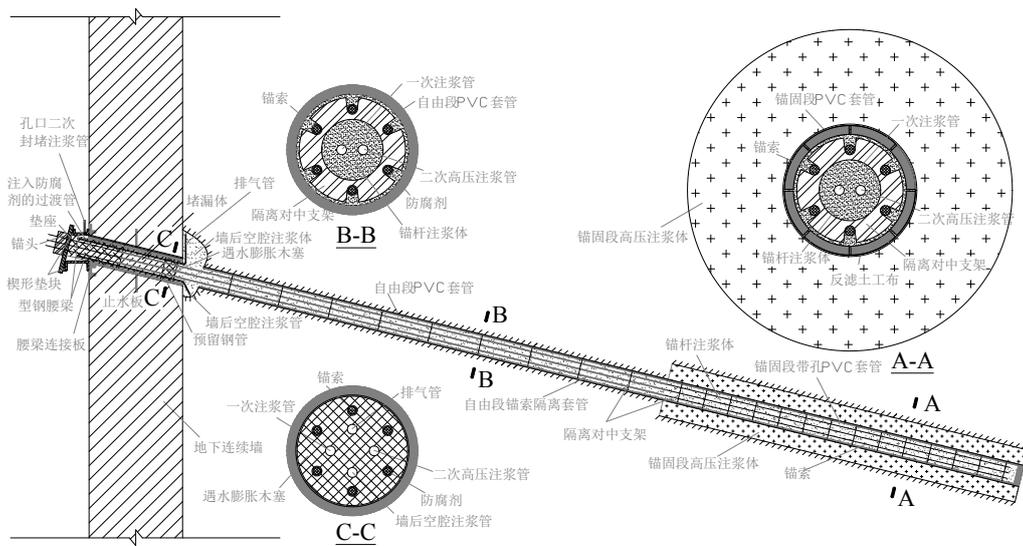


图 9 高承压水深基坑支护锚杆支护体系

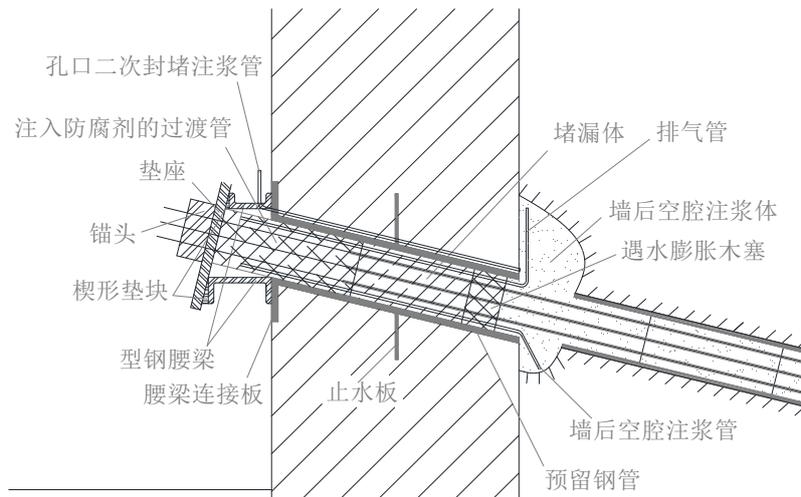
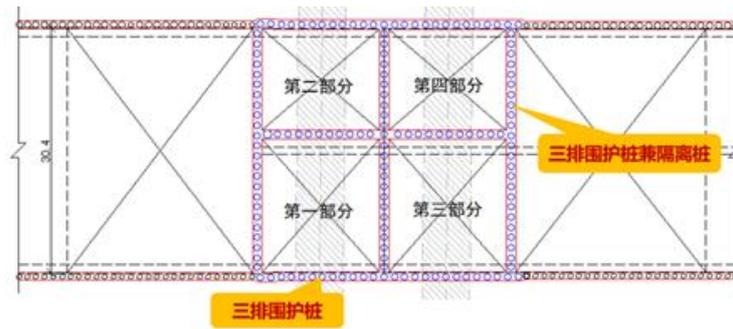


图 10 锚头构造及张拉锁定构造图

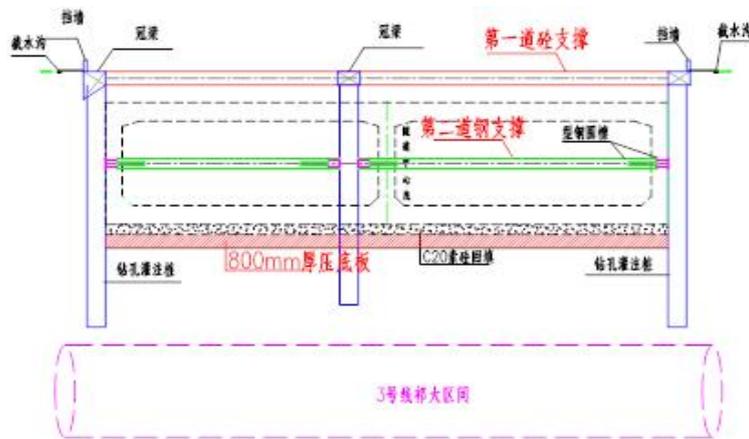
(2) 膨胀土地区地铁区间上方基坑封闭围护施工技术

地铁区间隧道上浮和地铁区间的变形要求严格，绝对最大位移要小于 2mm，隧道回弹变形不超过 15mm，隧道变形曲率半径必须大于 15000m，相对变形必须小于 1/2500。膨胀土具有明显的遇水膨胀、失水收缩的特性，在基坑施工过程中对基坑的稳定性和基底土体变形产生影响。在膨胀土地区地铁区间上方基坑的支护体系的设计和施工中，如何保证基坑的稳定，控制地铁区间的上浮和变形是一个重要的课题。

研发了膨胀土地区地铁区间上方基坑封闭围护施工技术（图 11），在膨胀土地区地铁区间两侧，利用全护筒静压桩设置隔离桩，利用隔离桩、水平支撑在基坑深度方向形成稳固“门式”框架支撑，并在基底施做压底板控制基坑底部土体的变形，在施工过程通过全护筒静压桩、跳仓开挖、预留核心土等措施，将基坑“化整为零”、封闭围护，避免土体的含水率变化，控制土体变形，以有效控制地铁区间的上浮和变形，圆满完成涉轨段基坑的施工任务。



(a) 涉轨节点平面图及土方分仓开挖顺序图



(b) 涉轨节点剖面图

图 11 膨胀土地区地铁区间上方基坑封闭围护

3.4 大型深基坑自动化监测施工技术

研发了深基坑自动化监测系统，实现了基坑监测自动采集、自动传输、自动计算、自动报警的四大功能（图 12）。该监测系统能够自动分析监测数据、自动过滤异常值，达到自动识别风险、自动预警的功能，实现了施工监测的信息化管理，真正实现基坑监测技术的全面革新升级，为基坑施工安全提供了技术保障。

深基坑自动化监测系统由三部分系统组成，第一部分是数据采集和传输系统（施工现场预安装监测传感器），第二部分是数据分析和解算系统（云服务器端），第三部分是数据输出和展示系统（电脑端及手机端）。

技术原理是首先通过预先安装在施工现场的传感器收集相关的数据，通过传输线缆传送至监控中心的数据采集单元，采集单元将物理信号转换成数字信号后由发射器发送至云服务器，然后在云服务器对接收到的信号进行数

据解算、分析和在线识别，最后通过电脑端和手机端的软件系统将分析结果进行展示，实时查看监测数据和预警情况。

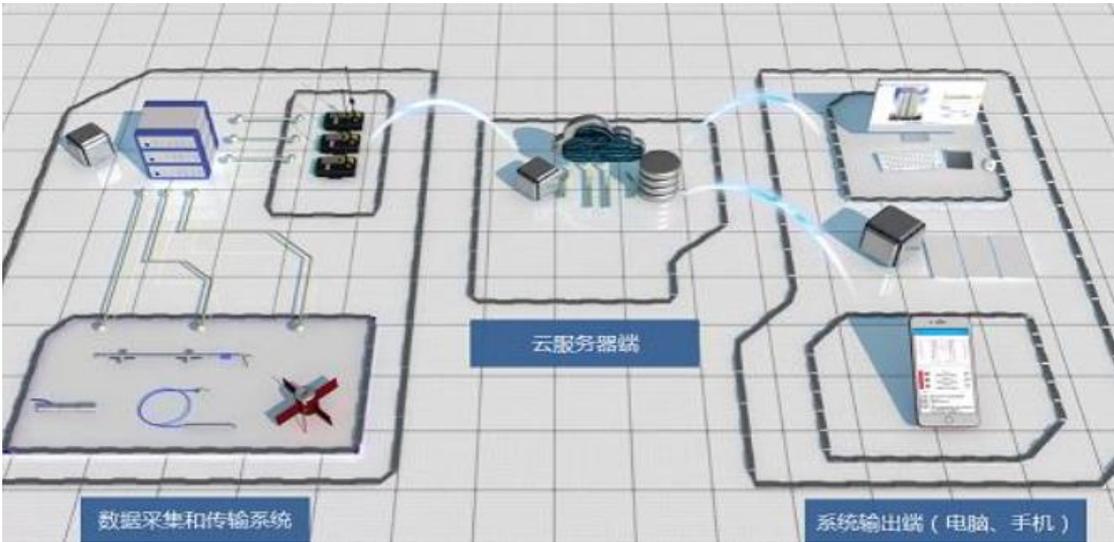


图 12 大型深基坑自动化监测施工技术原理图

深基坑自动化监测项目为墙体水平位移监测、支撑轴力监测、潜水水位监测（图 28）。根据深基坑监测的风险点位确定自动化监测断面，每个断面分别布设墙体水平位移监测点位、地下水位监测点位、支撑轴力监测点位。

- ① 墙体水平位移监测点位是在测斜管内安装了测斜仪，用来监测墙体水平位移变化。
- ② 轴力监测点位安装在钢支撑上的轴力计以及安装在混凝土支撑钢筋上的轴力计，用来监测钢支撑和混凝土支撑的轴力变化情况。
- ③ 坑外地下水位监测点位是在水位观测井内安装了水位计，以监测坑外的地下水位变化情况。

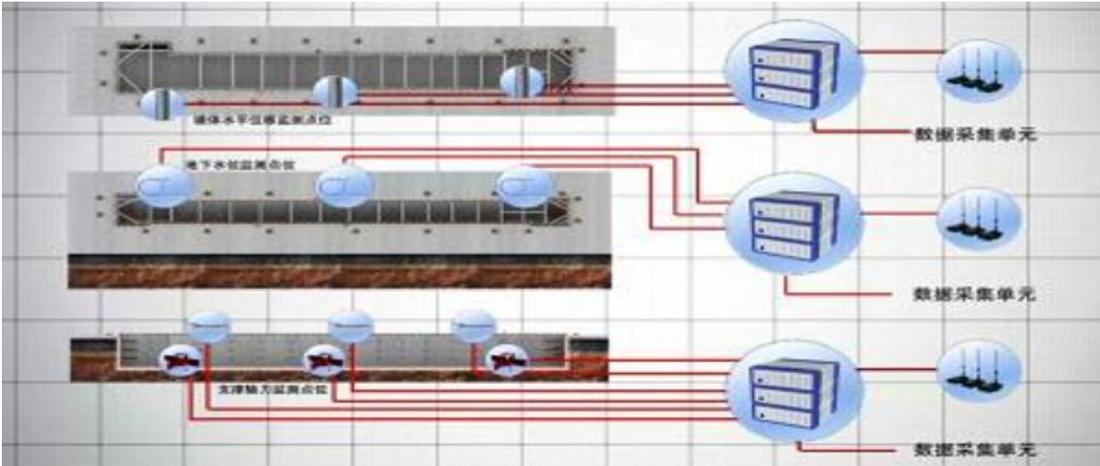


图 13 大型深基坑自动化监测系统图

四、项目背景及工作情况

（一）任务来源

根据《中国国际科技促进会标准化工作委员会团体标准管理办法》的有关规定，经中国国际科技促进会标准化工作委员会及相关专家技术审核，由浙大城市学院制定《软土深基坑智能控制降水与高效开挖技术规程》标准，项目计划编号C12022331。

（二）标准起草单位

本标准的主要起草单位是浙大城市学院、浙江工业大学、杭州市交通工程集团有限公司、浙江大学、中建八局浙江建设有限公司。

（三）标准研制过程及相关工作计划

- 1) 2022年1-2022年4月，广泛收集、整理软土深基坑智能控制降水与高效开挖技术国内外标准和相关文献，进行调研工作，初步拟定方案，完成准备工作。
- 2) 2022年5-8月，确定软土深基坑智能控制降水与高效开挖技术规程的范围和主要技术内容
- 3) 2022年9-11月，软土深基坑智能控制降水与高效开挖技术规程编制必要性整理完善，主要技术内容的补充、完善。
- 4) 2022年12-2023年12月，依据GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第一部分：标准的结构和编写规则》、GB 20001.4-2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》，团体标准立项通知公示后，编写人员根据工作计划分工和编写要求开展了相关工作。在标准起草期间，编制小组主编单位及参编单位组织了数次内部研讨会，经过多次修改，于2023年12月下旬完成了标准初稿及编制说明的撰写工作。完成了本标准的征求意见稿及标准编制说明。
- 5) 2024年1月向业界数十家单位的专家发送《征求意见稿》，汇总各

方意见并对本标准进行修改，完成了本标准的送审稿。

- 6) 计划2024年4月，对送审稿的审查意见，经实验补充和数据、资料的补充，进一步修订并完善送审稿。
- 7) 计划2024年6月，根据评审会议评审委员会成员的审查意见，对标准文本的格式进行修订，完成了标准报批稿。

五、标准制定的基本原则

标准编制过程中，遵循了以下基本原则：

- 1) 标准需要具有行业特点，指标及其对应的分析方法要积极参照采用国家标准和行业标准。
- 2) 标准能够体现出产品的具有关键共性的技术要素。
- 3) 标准能够为产品的开发、改进指出明确的方向。
- 4) 标准需要具有科学性、先进性和可操作性。
- 5) 要能够结合行业实际情况和产品特点。
- 6) 与相关标准法规协调一致。
- 7) 促进行业健康发展与技术进步。

六、标准主要内容

本标准规定了软土深基坑智能控制降水与高效开挖的术语定义、地下水控制、支护结构设计、基坑开挖、基坑自动化监测的技术方法和标准，适用于软土深基坑地下水控制、支护开挖与自动化监测。正文部分共分7章，内容包括标准的适用范围、引用标准、术语和定义、软土深基坑地下水控制、软土深基坑支护结构设计、软土深基坑开挖与回填、软土深基坑自动化监测。

七、与有关法律法规和强制性标准的关系

遵守和符合相关法律法规和强制性标准要求。规范性引用文件包括：

下列文件中的条款，通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50007-2011	建筑地基基础设计规范
GB 50497-2019	建筑基坑工程监测技术标准
JGJ 120-2012	建筑基坑支护技术规程
JGJ 311-2013	建筑深基坑工程施工安全技术规范

八、重大意见分歧的处理依据和结果

本标准起草过程中没有重大分歧意见。

九、后续贯彻措施

（一）政策措施和宣传培训

做好宣传培训，建议由各行业主管部门组织、主要起草单位配合开展标准宣贯培训工作，使相关执行人员了解标准、熟悉标准，掌握标准的各项技术要求，加强示范效应，让标准在行业内得到广泛推广和应用，使标准的应用落到实处。

对《软土深基坑智能控制降水与高效开挖技术规程》团体标准执行情况进行跟踪调查，及时发现标准中执行的问题，不断修改完善，提高标准水平，提高标准的科学性、合理性、协调性和可操作性。

（二）试点示范

组织规范使用单位参观学习并请专业技术人员讲解标准内容，利用各种活动（如工作组活动、行业协会的管理活动、标准化技术刊物、网上信息、产品认证等）尽可能地向各相关单位和机构宣传该标准。

建议本标准发布之日起半年内实施。

标准编制小组
2024年01月