

土建基坑支护施工安全管控要点分析

赵铭哲

杭州市地铁集团有限责任公司 浙江 杭州 310000

摘要: 地铁基坑支护施工兼具临时围护与长期承重双重特性,地质条件变异与结构-土体非线性作用构成主要安全难点。施工前期须系统完成勘察数据复核、设备物料检验及人员专项交底,夯实安全基础。施工过程围绕土方分层开挖、支护结构作业、地下水降水控制及动态监测实施全过程管控,依托信息化手段实时捕捉变形与受力异常。同时建立分级预警机制,严格执行隐患排查登记整改复查销号闭环流程,实现多环节协同联动的安全管控体系。

关键词: 地铁基坑; 支护施工; 安全管控; 动态监测; 隐患排查

引言: 地铁基坑支护施工是地下工程建设中的高风险作业环节,其安全管控水平直接关系到工程整体质量与施工进度。支护结构在开挖过程中承受复杂的水土压力作用,且常与主体结构形成永临结合体系,施工技术难度大。地质条件的变异性、施工工序的强时序关联性以及周边环境的严苛要求,使得安全管控面临诸多不确定性因素。因此,必须从施工前期准备、过程核心管控、监测预警及隐患整改等多个层面系统构建安全管控体系,确保支护结构及施工环境始终处于受控状态。

1 土建基坑支护施工基础特性与安全管控难点

1.1 地铁基坑支护施工基本特性

地铁基坑支护施工最突出的特性在于其临时性与永久性相互交织的结构状态。支护体系在基坑开挖阶段承担土压力与水压力的全部作用,其受力状态随开挖深度增加而持续变化,属于典型的分步加载过程。支护结构往往兼作地下主体结构的一部分,形成永临结合的设计格局,这要求施工必须兼顾临时围护与长期承重的双重标准。基坑平面尺寸大、开挖深度深,导致坑底卸荷回弹显著,坑内土体应力路径发生根本改变。地下水处理贯穿施工全过程,水位波动直接影响支护结构的侧向变形与坑底抗隆起稳定性。狭长型基坑在纵向上的空间效应明显,端头井与标准段交接处的结构刚度突变,极易引发应力集中现象。

1.2 基坑支护施工安全管控难点

基坑支护施工的安全管控难点集中体现在对不确定因素的预判与应对能力上。地质条件的变异性是最为棘手的管控对象,土层分布不均、地下水位动态变化以及局部不良地质体的存在,均可能颠覆施工前的勘察结论,使既定支护方案面临适应性挑战。施工过程中支

护结构与土体的相互作用呈现高度非线性特征,每一道支撑的设置时机和预应力施加精度都直接影响墙体位移量,这种时序关联性使得管控工作必须精确到每一个工序环节。坑内土方开挖与支撑安装交替进行,空间受限条件下大型机械的调动与材料运输极易产生交叉干扰^[1]。周边环境对地层变形的容忍度极低,微小的施工偏差可能引发连锁反应,整个管控体系需要在动态调整中维持平衡。

2 基坑支护施工前期安全准备管控要点

2.1 施工前期勘察与技术核查管控

施工前期勘察与技术核查是基坑支护安全管控的首要环节,其根本任务在于将勘察成果精准转化为可执行的施工依据。勘察阶段获取的地层分布、水文参数以及周边管线埋设情况,必须经过施工方独立复核与多方交叉验证,确保数据可靠性满足支护设计需求。以青岛地铁15号线仙山路站为例,该站穿越粉质黏土层、中粗砂层及风化凝灰岩层,岩层起伏与砂层富水特性叠加对基坑支护形成双重挑战,施工过程中曾三次邀请专家调研制定针对性解决方案。技术核查工作着重围绕支护结构选型与地层条件的匹配程度展开,对不同区段的围护桩嵌入深度、支撑道数及锚固力取值进行逐项确认。芳白城际夏茅站在基坑开挖前创新采用电渗法与跨孔电阻率成像组合技术,对围护结构进行地下水渗漏及绕流检测,精准识别薄弱环节后提前实施注浆封堵。施工方案编制中需充分考虑开挖顺序与支撑安装时间的协调关系,监测方案的布点密度与报警阈值也在此阶段确定,为后续施工提供预警基准。

2.2 施工设备与物料安全管控

施工设备与物料的安全管控,直接关系到支护施工

的执行质量和连续作业能力。大型设备进场前必须经过全面的性能检验与试运行测试,重点就是看成槽设备、钻孔机械和起吊装置在复杂工况下能不能稳定工作,动力系统与液压系统的可靠性属于核心检验指标。上海轨道交通工程紧邻运营高架线施工时,现场演示了红外线防碰撞装置、GPS 电子围栏及大型设备回转限位装置,实现了吊装区域与既有结构之间的边界智能防护。支护用的钢支撑、围檩及连接件,规格尺寸得跟设计图纸严格对应;材料进场后要对其直线度、端面平整度和焊缝质量逐件检查,杜绝不合格品进入安装工序^[2]。杭州地铁 15 号线项目在基坑施工中应用了钢支撑智能伺服系统,有效降低施工风险,并促进安全管理效能提升。混凝土原材料的配合比验证和钢筋力学性能抽检也不可忽视,这类质量控制应贯穿从进场到浇筑的全流程。物料存储和调配需划分明确区域并做好动态记录,使各类材料在施工节奏变化中仍能及时就位,减少因物料缺位或错用引发的工序停滞与安全隐患。

2.3 作业人员与现场布局管控

作业人员与现场布局管控着眼于施工主体的作业素养和场地空间的合理利用。各岗位作业人员须具备与其承担工序相适应的操作技能和安全认知水平,开工前需结合本工程的地层特点和支护形式进行针对性技术交底。青岛地铁 15 号线项目推行班组建设下沉制度,管理人员与班组人员同吃住同作息,融入班组日常工作,在基坑边手把手指导工人调整锚索角度、监测土体位移。现场平面布局应遵循支护作业的工艺流向,合理划分土方堆载区、材料堆放区、设备停放区及运输通道,确保重载车辆和大型机械行驶路线不穿越支撑密集区,避免对未达设计强度的支护结构产生附加荷载^[3]。无锡地铁 5 号线新韵路站曾开展无脚本深基坑涌水涌砂事故综合应急演练,不预设剧本、不提前通知,有效检验了项目风险预警、决策响应及现场处置全流程的衔接效能。场地排水系统与泥浆循环系统的位置安排要便于日常清理维护,保障作业面整洁顺畅,提升施工人员在复杂环境下的操作安全裕度。

3 基坑支护施工过程核心安全管控要点

3.1 土方开挖阶段安全管控

土方开挖阶段安全管控的核心就在于维持基坑内外土压力平衡,并精准把握时空效应。开挖必须严格遵循分层、分段、对称的基本原则,每一层开挖深度和暴露时间都要与支撑安装进度紧密衔接,这一点不能含糊。以石家庄地铁 5 号线解放大街站为例,该站基坑深达 38 米,采用明挖法施工,开挖土

方总量约 14 万立方米,所处地层以松散砂层为主。苏州地铁珍珠湖路站总开挖土方量达 60800 立方米,项目团队靠优化开挖顺序、合理调配机械设备,克服了雨季对土方外运的不利影响,最终实现安全与质量“零事故”。深圳地铁 15 号线深大南站基坑开挖深度达 25.8 米,开挖过程中需严格控制每一层开挖的标高与边界,防止超挖或欠挖对支护结构产生附加扰动。坑底最后一部分土方开挖完毕后,应立即组织垫层浇筑与底板施工,缩短坑底暴露时间。出土口与运输通道的布置要避开支撑密集区域,避免重载车辆通行对未达设计强度的支护体系造成冲击荷载^[4]。

3.2 各类支护结构施工安全管控

支护结构施工的安全管控就是要覆盖围护桩、地下连续墙、钢支撑及锚索等各类构件的作业全过程。地下连续墙成槽阶段必须严格控制槽壁稳定性与垂直度,防止塌槽事故的发生。广州地铁 8 号线项目凤江风井围护结构共设计 28 幅地连墙,标准幅宽 6 米,厚度统一 0.8 米,成槽深度介于 21.841 米至 39.801 米之间。钢支撑安装的安全管控重点就在轴力施加的时机与精度,这一点不能含糊。杭州地铁双陈站引入钢支撑轴力自动化监测系统,实时监测支撑轴力变化并动态调整,把基坑变形严格控制在规范要求范围内。深圳地铁 15 号线深大南站启用钢支撑伺服系统,实现 24 小时实时监控,低压自动补偿、高压自动报警。解放大街站引进钢支撑数字调控系统,通过 300 个调控点对围护结构实现智能调压。锚索施工这一块,需要控制注浆压力与锚固段长度,确保锚固力达到设计要求。

3.3 地下水与基坑降水安全管控

地下水与降水安全管控就是基坑施工中不可忽视的关键环节,直接关系到底部开挖的作业安全与支护结构的受力稳定。解放大街站基坑底板低于地下水位 11 米。项目团队提前构建了“止水+降水+备用电源”三重保障体系:采用地下连续墙及工字形止水钢板形成封闭止水帷幕,防止周边地下水渗入;基坑内共设置 23 口降水井确保 24 小时不间断抽水作业,同时在基坑周边设置 12 口观测回灌井;配备 2 套备用发电机组确保汛期供电稳定。目前基坑内水位已稳定控制在设计标高以下。降水运行期间需根据坑内外水位观测数据动态调整抽水速率与回灌量,防止过度降水引发坑外地面沉降。坑中坑加深区域需优先采取隔水措施,避免局部突涌风险。

3.4 施工现场动态安全管控

施工现场动态安全管控就是依托信息化监测手段,对基坑状态进行全过程跟踪与实时预警。苏州地铁珍珠湖路站引入智能化监测系统,对基坑周边位移、支撑轴力、地下水位等关键数据开展 24 小时实时监控,用信息化手段保障施工安全。杭州地铁双陈站实施动态监测,对周边管线和建筑物进行 24 小时自动化变形监测,沉降精度控制在毫米级。解放大街站则利用超声波探测仪实时监测地连墙垂直度和成槽侧壁完整性。现场需要建立分级预警机制,依据监测数据的累积变化量与变化速率设定不同级别的报警阈值。一旦监测数据接近预警值,就应加密监测频率并启动相应级别的应急响应程序^[5]。施工参数的调整需根据监测反馈动态决策,形成“监测—分析—反馈—调整”的闭环管控流程。

4 基坑支护施工监测与隐患整改管控要点

4.1 施工动态监测管控

施工动态监测管控就是立足于对基坑支护体系全生命周期的实时感知与数据驱动决策。监测内容涵盖围护结构侧向位移、支撑体系轴力变化、坑内外地下水位波动、地表沉降分布以及邻近地层深层位移等多个维度,各监测项目的布设密度与初始读数必须在施工启动前完成标定。监测频率得根据开挖深度、支撑安装进度以及季节气候条件动态调整,在关键工序转换期和异常天气条件下应当加密至每日多次。现场监测数据通过自动化采集系统实时上传至管理平台,减少人为读数误差并缩短信息传递时滞。预警阈值的设定要兼顾变化速率与累计变化量两个控制指标,当任一指标逼近警戒线时,系统自动触发声光报警并向相关责任人推送预警信息。监测团队需对每一组数据进行趋势分析,判断变形发展是收敛还是发散,把分析结论以简明形式提交给施工决策层,作为调整挖土速率、增设临时支撑或调整降水方案的技术依据。

4.2 安全隐患排查与闭环整改管控

安全隐患排查与闭环整改管控是确保基坑支护安全

防线不出现管理漏洞的关键机制。排查工作采取日常巡查、专项检查和联合督查相结合的方式,覆盖围护结构渗漏点、支撑连接节点、降水井运行状态、堆载超限情况以及临边防护完整性等所有风险源。发现的安全隐患必须按照严重程度进行分级分类,明确一般性隐患、较大隐患和重大隐患的界定标准,不同级别对应不同的处置时限和上报层级。整改环节强调责任到人,每一项隐患均须指定整改责任人、整改措施和完成期限,整改完毕后由专职安全管理人员进行复查验收,验收合格方可销号。整个流程从发现、登记、整改、复查到销号形成完整的闭环管理链条,所有记录应留存备查。定期对同类隐患进行统计分析,找出重复出现的薄弱环节,从管理层面制定预防性改进措施,避免同一问题反复发生,从根本上提升支护施工的整体安全可控水平。

结束语: 地铁基坑支护施工安全管控是一项贯穿勘察、开挖、支撑安装、降水运行及监测整改全过程的系统性工作,各环节之间的时序衔接与信息传递直接影响支护结构的稳定状态。施工前期的精细准备为后续作业奠定基础,过程中的动态管控与实时监测是发现问题的眼睛,隐患排查与闭环整改则是解决问题的手段,三者相互支撑、缺一不可。唯有将技术手段与管理措施有机结合,构建起全链条、可追溯的安全管控机制,才能有效应对复杂地层条件下的各类风险挑战,确保基坑施工安全有序推进。

参考文献

- [1] 彭永霞. 土建工程深基坑支护的施工要点及管理分析 [J]. 商品与质量, 2021(7):368.
- [2] 宋沛伦, 徐子楠. 土木工程中土建施工的技术要点分析探讨 [J]. 工程施工与管理, 2026, 4(3).
- [3] 王立新. 市政工程深基坑施工工艺与质量安全管理研究 [J]. 建筑·建材·装饰, 2026(3):49-51.
- [4] 王少军. 某地铁车站深基坑支护体系设计及风险控制 [J]. 中国高新科技, 2023(20):57-58, 82.
- [5] 曹天祺. 地铁车站深基坑支护结构设计及施工稳定性分析 [J]. 工程建设与发展, 2026, 5(6):68-70.