

暗挖隧道施工过程中地质预测与内控制度响应机制

文 / 张梦迪 青岛地铁集团西海岸建设分公司
辛泽宇 青岛地铁集团西海岸建设分公司
张凌基 青岛地铁集团西海岸建设分公司

摘要：本研究探讨了暗挖隧道施工中地质预测与内控制度响应机制，明确了二者协同关系重要性。通过案例分析与实践探索，揭示了多种地质预测方法在实际施工中应用，并据此实施了一系列内控制度响应措施，取得了效果。针对地质预测技术局限性及内控制度执行中问题，提出了加大技术研发投入、强化执行力度和优化响应机制等改进策略。

关键词：暗挖隧道施工；地质预测；内控制度；响应机制

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.15.010

引言

随着城市化加速和交通需求增长，隧道工程在交通基础设施建设中广泛应用，其中暗挖隧道施工因对地面交通影响小成为城市隧道建设常用方法。然而，暗挖隧道面临地质条件不确定性挑战，如软弱土层、断层破碎带等不良地质条件及复杂水文地质问题，引发安全事故，严重威胁施工安全和人员生命安全。因此，准确地质预测成为关键，利用地质雷达、TSP等技术可提前了解地质情况，为施工方案调整提供科学依据。建立完善内控制度响应机制至关重要，能规范施工操作，明确职责，确保安全管理有效实施，并迅速应对突发地质灾害，减少损失。综上所述，研究暗挖隧道施工地质预测与内控制度响应机制，对保障施工安全、提高工程质量、降低风险具有现实意义，推动隧道工程技术发展，为类似工程提供借鉴，促进交通基础设施建设可持续发展。

一、地质预测与内控制度响应机制关联分析

（一）地质预测重要性及方法

复杂地质条件易引发隧道坍塌、涌水、突泥等安全事故，严重威胁施工人员安全。准确的地质预测能提前揭示不良地质条件，指导采取加固、支护等措施，降低事故风险，并确保隧道支护和衬砌设计符合地层特性，避免质量问题。地质预测方法包括地质分析法、物探法和钻探法。地质预测有助于制定合理施工方案，优化资源配置，有效控制成本。暗挖隧道施工内控制度是一个涵盖施工工序、质量、安全、人员和财务管理等关键要素的综合管理体系。施工前需明确施工方法、开挖方式、施工参数及支护施工时间和材料规格，每道工序需严格质量检验和验收。质量管理方面，建立完善的质量控制体系，加强原材料和施工环节检查，确保工程质量达标。安全管理注重安全教育培训、检查和隐患排查，制定应急预案，提高应对突发事件能力。人员管理涉及招聘、

培训、考核和激励，确保施工人员专业技能达标。财务管理包括成本控制、预算管理和资金管理，合理规划资金使用，降低工程成本。这些要素相互关联、制约，共同保障施工顺利进行。

（二）地质预测结果对施工决策影响

地质预测结果在暗挖隧道施工中具有决定性意义，它引导施工单位根据地质条件制定施工方案、选择施工技术和配置资源，以确保施工安全、质量和进度。面对复杂地质条件，如断层破碎带、岩溶发育区和富水地层，施工单位需灵活调整策略：在断层破碎带，采用CD法或CRD法分部开挖，强化超前与初期支护，严格控制开挖进尺，确保施工安全；在岩溶发育区，通过超前注浆加固和钢支撑支护，提升围岩稳定性，顺利完成施工任务；在富水地层，结合降水与堵水技术，如井点降水、超前帷幕注浆等，形成止水帷幕，降低地下水位，确保施工顺利进行。根据地层特性，坚硬岩石采用钻爆法并严控爆破参数，软弱地层则采用机械或人工开挖，及时支护。地质预测还促使施工单位增加人力、物力与财力投入，调配经验丰富技术人员，加强设备管理，配备先进施工装备，并预留应急资金以应对突发风险。

（三）内控制度对地质预测支持与保障

内控制度在地质预测工作中发挥着至关重要作用，它通过规范人员操作、提供资源支持和实施质量监督，确保了地质预测结果准确性和可靠性。在规范操作方面，内控制度明确了地质预测人员职责和操作流程，要求人员经过专业培训，并严格按照操作规程进行工作，如TSP隧道地震波反射法具体操作步骤和要求，以提高预测质量和可靠性。在资源支持方面，内控制度确保地质预测工作所需人力、物力和财力得到保障，包括合理配备专业技术人员、提供先进仪器设备和充足材料，以

及预留专项经费用于地质预测工作开展。在质量监督方面，内控制度建立了全面监督机制，定期对地质预测工作进行检查，包括仪器设备使用情况、数据采集准确性、分析方法合理性等，并对预测结果进行审核，及时发现和纠正存在问题，确保预测结果可靠性。

（四）响应机制构建原则与流程

暗挖隧道施工内控制度响应机制构建需遵循及时性、科学性和针对性原则，以确保高效应对复杂地质条件，保障施工安全。及时性原则要求快速响应地质预测结果，一旦发现异常立即通知施工部门，迅速组织分析评估并制定应对方案，调配资源及时处理，避免事故扩大^[2]。科学性原则强调运用先进地质预测技术和科学理论方法，如TSP、地质雷达等，提高预测精度，依据岩土力学等学科知识制定科学合理施工方案和安全措施。针对性原则要求根据具体地质预测结果和施工情况，采取针对性应对策略，如断层破碎带加强超前支护，岩溶发育区采取注浆填充等。响应机制流程包括地质预测信息收集、信息分析与评估、内控制度调整、措施实施与监督等环节。通过TSP、地质雷达等设备探测地质情况，结合地质分析法获取全面信息，专业技术人员进行综合分析评估，根据评估结果调整内控制度，包括施工工序、质量管理、安全管理、人员管理和财务管理等方面，然后迅速实施应对措施并加强监督，确保施工质量符合要求，同时建立信息反馈机制，根据实际情况进一步调整完善内控制度。

（五）案例分析

在某城市地铁暗挖隧道工程中，面对复杂地质条件和严格施工要求，我们综合运用了地质分析法、TSP隧道地震波反射法、地质雷达和红外探测等多种地质预测方法，全面准确地掌握了隧道前方地质情况，如图1所示。预测结果显示，隧道将穿越多处断层破碎带、岩溶发育区和富水地层，面临坍塌、涌水和突泥等风险。为此，我们实施了一系列内控制度响应措施，包括施工方案调整、安全管理加强和质量管理优化。在穿越断层破碎带时，采用交叉中隔壁法（CRD法）施工，严格控制开挖进尺，增加超前支护措施，成功穿越多条断层破碎带。加强安全教育培训，制定应急预案，加大安全检查力度，增设安全防护设施，有效降低了安全事故发生概率。在质量管理方面，建立更严格质量检验标准和流程，对每一道施工工序进行严格把控，工程质量提升。该工程未发生重大安全事故，施工质量达到或优于设计要求，施工进度基本按计划完成，施工成本得到有效控制，实现了经济效益和社会效益双赢。此案例为类似暗挖隧道工程提供了宝贵经验。

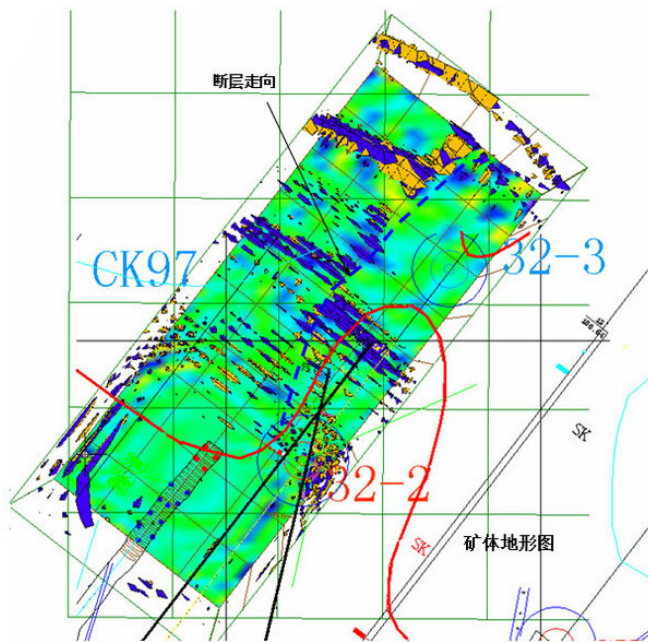


图 1：地铁暗挖隧道工程断面图

二、问题与挑战

（一）地质预测技术局限性

尽管地质预测技术在暗挖隧道施工中发挥着重要作用，但目前技术仍存在局限性，影响了地质预测准确性和可靠性。物探方法如地质雷达和TSP隧道地震波反射法，虽具有快速高效等优点，但受地质条件复杂性、仪器精度和人为因素制约。在岩溶地区，溶洞等复杂地质形态使物探信号异常复杂，难以准确判断地质异常体位置和规模^[3]。仪器精度有限，导致小型地质构造或微弱异常漏判或误判。人为因素如操作不规范、经验不足也会影响探测结果。钻探法作为直接获取地质信息方法，其局限性在于探测范围有限，难以全面掌握整个断面地质情况，且成本较高，对施工进度有一定影响。在某隧道施工中，尽管采用了多种地质预测方法，但由于上述局限性，仍未能准确发现所有地质异常体，给施工带来了风险和困难，显示了现有技术复杂地质条件下挑战。

（二）内控制度执行中问题

在暗挖隧道施工过程中，内控制度有效执行对于确保施工安全、质量和进度至关重要，但实际操作中常面临诸多挑战。部分施工人员对安全管理和质量管理等内控制度重要性认识不足，存在违规操作现象，如忽视安全规程、不佩戴个人防护用品、不遵守施工质量标准等，增加了施工风险和安全隐患。内控制度执行缺乏有效监督机制，监督人员专业素质参差不齐，监督工作流于形式，对违规行为处罚力度不够，导致违规行为屡禁不止。随着隧道施工技术不断发展和地质条件日益复杂，内控制度需要不断更新和完善以适应新施工要求，但部分施

工企业对此重视不足，未能及时根据新情况修订制度，导致制度与实际施工脱节，影响了施工管理效率和效果。

（三）响应机制难点与障碍

暗挖隧道施工过程中，响应机制面临多重难点与挑战，严重影响了其应对地质风险有效性和及时性。地质预测信息传递不畅，常因沟通渠道缺乏和传递延误，导致施工部门无法及时调整施工方案，增加了施工风险。信息传递过程中还出现失真，专业术语和复杂图表使用导致施工部门误解地质预测信息，影响施工安全 and 质量^[4]。多部门间协调困难也是一大问题，职责划分不明确、利益诉求差异导致在面对地质风险时相互推诿责任，延误抢险救援时机。响应机制缺乏动态调整能力，无法根据地质条件变化及时调整应对措施，导致在地质条件突然变化时无法有效解决问题，增加了施工风险。缺乏科学前瞻性调整，缺乏完善地质条件动态监测和分析系统，使得响应机制调整往往滞后于实际地质变化，对施工安全和工程进度构成潜在威胁。

三、改进策略与建议

（一）提升地质预测技术水平

为了有效提升暗挖隧道施工中地质预测准确性和可靠性，确保施工安全与质量，需从技术研发、方法应用和人才培养三方面综合施策。在技术研发上，应增加资金投入，鼓励科研与高校合作，突破技术瓶颈，如研发高分辨率、强抗干扰能力物探仪器，利用 AI 和大数据技术建立精确地质模型。在实际施工中，应采用综合预测方法，结合地质分析法、物探法和钻探法，通过初步分析、快速探测和详细探测三个阶段，全面、准确地掌握地质情况。培养高素质专业人才也至关重要，施工企业应与高校和科研机构合作，建立人才培养基地，开展培训课程，提高技术人员专业水平和实践能力，并鼓励其参与学术交流，了解最新技术动态，制定激励政策吸引和留住优秀人才。

（二）强化内控制度执行力度

为确保内控制度在暗挖隧道施工中有效执行，保障施工安全、提升质量、控制成本，需从加强培训、完善监督机制和建立激励约束机制三方面着手。施工企业应定期组织涵盖安全管理、质量管理、施工工序管理等方面内控制度培训，通过实际案例和行业专家讲座，提升施工人员安全意识和质量管理能力，并针对不同岗位制定个性化培训方案。建立健全内部监督体系，明确监督职责，设立独立监督部门或岗位，配备专业监督人员，对关键环节进行定期检查和不定期抽查，及时整改问题，并对监督人员进行培训和考核。建立激励约束机制，将内控制度执行情况与绩效考核、薪酬待遇、职业发展挂钩，

对严格执行制度施工人员给予表彰和奖励，对违反者给予严肃处罚，并定期进行评估和反馈，以调动施工人员积极性和主动性，全面强化内控制度执行力度。

（三）优化响应机制措施

为了提升暗挖隧道施工内控制度响应机制有效性和及时性，以应对复杂多变地质条件，需采取综合措施：建立高效信息共享平台，利用现代信息技术实现地质预测、施工进度、质量安全等信息实时传递与共享，为施工决策提供及时、准确依据；加强部门协同合作，明确各部门职责，制定协同工作流程和沟通机制，确保地质风险得到迅速、有效应对^[5]；构建动态响应机制，实时监测地质条件变化，利用传感器技术和专家咨询团队，根据地质变化自动调整施工方案和内控制度，提升了响应机制灵活性和适应性，有效保障了暗挖隧道施工安全、质量和进度，通过信息共享、部门协同和动态调整，成功避免了涌水事故，穿越了岩溶发育区，控制了围岩变形，确保了施工安全。

结语

本研究聚焦于暗挖隧道施工中地质预测与内控制度响应机制，通过理论、案例与实践探索，揭示了二者紧密协同重要性。地质预测作为施工决策关键依据，引导施工单位根据地质条件调整施工方案和技术选择，而内控制度则为地质预测提供支持和保障，确保预测结果可靠性。在某城市地铁暗挖隧道工程中，综合运用多种地质预测方法准确掌握地质情况，并据此实施了一系列内控制度响应措施，有效保障了施工安全、质量、进度和成本。针对地质预测技术局限性、内控制度执行问题及响应机制障碍，提出了加大技术研发、强化执行力度和优化响应机制改进策略，包括研发新型物探仪器、采用综合预测方法、加强人才培养、完善监督机制、建立激励约束机制、构建高效信息共享平台、加强部门协同合作及建立动态响应机制等措施，以进一步提升暗挖隧道施工安全性和效率。

参考文献

- [1] 不良地质条件下隧道洞身开挖施工关键技术. 韩丛. 工程建设与设计, 2024 (02).
- [2] 不良地质条件下铁路隧道洞身开挖施工关键技术. 孙建祥. 工程机械与维修, 2022 (05).
- [3] 不良地质条件下隧道洞身开挖施工探析. 陈国旺. 工程建设与设计, 2024 (20).
- [4] 隧道工程洞身开挖工艺技术分析. 程熙. 低碳世界, 2019 (11).
- [5] 韶惠高速公路隧道洞身开挖施工与初期支护安全措施. 刘惠义. 黑龙江交通科技, 2023 (03).