

浅谈大直径盾构管片安全生产智能制造控制技术

文 / 张 辉 中铁十四局集团房桥有限公司

摘要: 大直径盾构管片生产是隧道工程建设的重要环节,其安全生产质量直接影响到隧道工程的整体质量和使用安全。本文从安全生产质量智慧控制体系构建、安全生产智能制造控制技术、生产安全事故应急响应与救援三个方面,探讨大直径盾构管片安全生产智能制造控制技术的相关内容。通过加强安全生产责任制落实,优化安全生产管理体系,通过应用自动化、智能化、信息化、数字孪生技术、科技兴安等手段、完善事故应急预案等措施,打造的第五代智慧化工厂全方位多领域的生产数据管理方案,可以有效提升大直径盾构管片生产的安全性和质量的可靠性,为隧道工程建设提供坚实保障。

关键词: 大直径盾构管片; 安全生产; 智能制造; 质量控制

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.055

引言

随着城市地下空间开发利用的不断深入和市政道路穿越江河湖泊越来越多,大断面隧道工程日益增多,对盾构管片的需求也随之不断增长。大直径盾构管片作为隧道衬砌结构的重要组成部分,其生产质量和安全性能直接关系到隧道工程的整体质量和安全。因此,加强大直径盾构管片安全生产质量控制,对于保障隧道工程建设安全、提高工程的质量具有重要意义。

一、大直径盾构管片安全生产质量控制体系构建

(一) 安全生产责任制落实

建立健全安全生产责任制是管片生产企业安全管理的基础。管片生产企业要严格落实国家有关安全生产法律法规和行业标准要求,构建纵向到底、横向到边、全员参与的安全生产责任体系。企业主要负责人是安全生产第一责任人,对企业安全生产工作全面负责。各级管理人员要严格履行“一岗双责”,将安全生产责任落实到每个岗位和个人。要健全全员安全生产责任考核机制,将安全绩效与个人评价、薪酬挂钩,调动全员参与安全生产的积极性。建立完善的奖惩机制,及时对安全生产绩效突出的部门和个人予以表彰和奖励,对违章作业导致严重后果的,依法依规严肃追责问责。安全生产责任制落实要做到全面覆盖、层层传导、责任到人,形成“人人担责、处处落实”的良好局面。

(二) 安全生产教育培训体系构建

完善的安全生产教育培训是提升员工安全意识和操作技能的关键。管片生产企业要建立多层次、全覆盖的安全生产教育培训体系,做到全员培训、重点管控。对管理人员不定期要开展安全管理知识和法律法规培训,提高安全管理能力;对特种作业人员要开展有针对性的安全技术培训和实操考核,同时严格落实持证上岗,充分利用科技兴安的手段,打造智慧工厂的“安防系统”,如对特种设备管理进行人脸识别和刷卡通电的双重验证系统来保证特种设备的安全运行;对新员工和转岗人员,要及时开展岗前安全培训,确保其掌握必要的安全知识和操作技能。提高安全生产标准化建设,打造安全培训中心,采取灵活多样的培训形式,如课堂授课、案例分

析、情景模拟、VR安全体验等,增强培训的吸引力和互动性;不断完善“安全教育培训素材库”,每月对各班组进行安全警示教育,对安全积分排名靠后的人员,让其讲述安全生产的重要性和违章作业的危害。安全积分排名靠前的人员,可凭安全积分在安全积分兑换超市兑换一定的生活用品;定期邀请专家授课和实战化应急演练做指导交流。员工培训要突出针对性和实效性,紧密结合生产实际,解决突出的安全风险和薄弱环节。另外要加强培训效果评估和持续改进,建立培训档案,确保培训效果落地。



(三) 安全生产管理体系优化

科学高效的安全生产管理体系是规范企业安全管理行为、提升本质安全水平的重要保证。管片生产企业要持续优化安全生产管理体系,建立健全安全管理组织架构,明晰管理职责和 workflow。成立安全生产委员会,由企业主要负责人担任组长,安全总监为副组长,各职能部门负责人为成员,统筹协调安全生产管理工作。同时,要建立健全安全管理制度体系,包括安全生产责任制、安全教育培训、安全隐患排查、事故应急响应、突发事件专项处置方案等,为安全生产提供制度保障,优化事故管理和应急响应流程,提高全员对突发事件的防范和应急处置能力。通过体系化、制度化、规范化管理,实现管片安全生产管控闭环运行,从源头防范化解

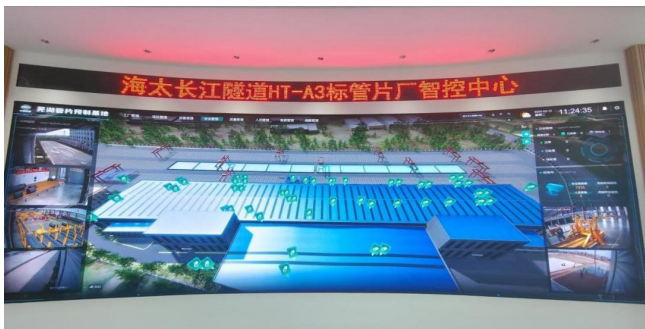
各类安全风险。

二、大直径盾构管片安全生产关键技术

(一) 生产工艺安全控制

1. 原材料质量控制

打造管片安全生产智慧控制中心，集工厂管理、项目管理、设备管理、安全管理、质量管理、人员管理、物资管理、调度管理、厂区安防一体化系统，把好原材料进场关，原材料质量是保证管片成品质量的基础，要建立完善的原材料质量管理体系，首先从原材料进厂开始，物资管理系统将所有进场的原材料信息从地磅进场开始记录，在试验室验收合格后报告自动上传至物料管理系统，进行材料入库；对入库的原材料存量及余量进行实时监控，出现不足情况及时预警提醒，这样物资部就可以及时补料，大大减少了人工盘库的工作量和不确定性。另外，让所有物料信息集成在管片二维码中，保证每一块管片可以做到原材可追溯。另外，从供应商准入、采购控制、进场检验等环节入手，严把原材料质量关^[1]。在供应商选择上，要对供应商的资质、信用、供货能力进行严格评估，建立合格的供应商名录，定期考核管理。采购合同中要明确原材料的技术标准、质量要求等条款。建立原材料进场检验制度，对水泥、砂石骨料、钢筋、外加剂等原材料抽样检测，检测项目包括强度、压碎值、含泥量、氯离子含量等指标，坚决杜绝不合格原料进场。此外，要加强原材料现场管理，做好原材料的防潮、防尘、防污染等措施，尤其是水泥、钢筋等对环境敏感的材料，要采取有效的隔离防护。见管片安全生产智慧控制中心，图二。



图二 管片安全生产智慧控制中心

2. 生产工艺流程优化

管片生产是一个系统工程，涉及钢筋加工焊接、混凝土拌和、浇筑成型、养护存储等多个工序，工艺流程长、影响因素多。管片生产企业要持续优化生产工艺，保证产品质量稳定可控^[2]。在混凝土配合比设计上，要针对大直径盾构管片对混凝土性能的特殊要求，优化水泥品种和掺量、细骨料的级配、粗骨料的粒径，选用高效适配减水剂，调配出最优C60混凝土配合比，确保混凝土的工作性能和耐久性能。混凝土浇筑和振捣要连续均匀，避免漏振和蜂窝麻面等质量缺陷。要优化蒸汽养护工艺参数，控制升温 and 降温速率，管片脱模后，要根据环境温度和管片表面温度，考虑增加管片保温保湿

箱，保温保湿箱作为管片静停区，通过温湿度监测系统和蒸汽发生器实时调整温湿度，保证管片起模后的缓慢降温，从而减少因温差应力导致的裂缝。确定管片生产最优混凝土配合比，见表1。

表1 确定最优 C60 配合比 (Kg/m³)

原材料	水泥	粉煤灰	矿粉	细骨料	粗骨料	水	减水剂	聚丙烯纤维
用量	340	70	56	710	1209	135	4.6	1.5

3. 生产设备安全性能提升

管片生产需要使用大量机械设备，这些设备的安全性能直接关系到生产作业的安全与质量。企业要选用优质、可靠的生产设备，加强设备日常维护和保养，确保设备始终处于良好的运行状态^[3]。要定期开展设备安全检查，重点检查安全防护装置的完好性和有效性，对发现的安全隐患要及时整改。特种设备如起重机械、压力容器等，要严格执行定期检测制度，取得使用登记证并在醒目位置悬挂标示牌和司机操作证；另外，与第三方检测机构签订设备维保协议，定期对特种设备进行检修和维护。大力推进“机械化换人、自动化减人、智能化无人”，降低高危场所和岗位现场作业风险。引进机器人清模、机器人喷涂脱模剂和机器人收面，逐步推进机械化、自动化，替代人工操作，在确保质量的同时，有效降低作业人员的安全风险。此外，要注重从设备本质安全入手，在设备选型和采购时，将安全要求作为重要的考虑因素，选择具有完善的安全防护功能的设备，从源头提升生产作业本质安全水平。

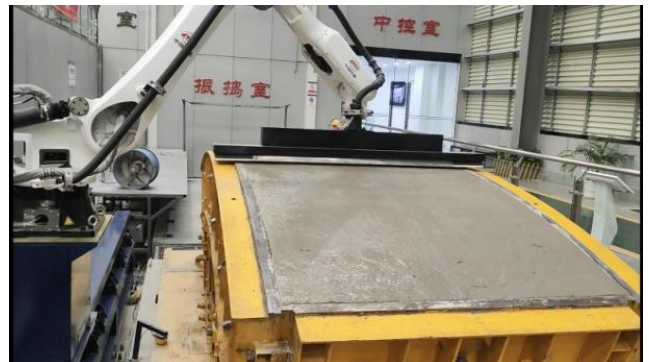


图3 机器人收面

(二) 施工作业全过程管控

管片生产涉及钢筋笼焊接、模具清理、混凝土浇筑、蒸汽养护、脱模吊运、水养池养护等多道工序，生产车间运行设备较多，作业人员交叉频繁，极易发生起重伤害、机械伤害、物体打击、高处坠落等安全事故。管片生产企业要采取有效的安全技术措施，加强施工作业全过程管控^[4]。严格执行安全技术交底和专项施工方案，编制作业指导书，明确操作规程和安全注意事项；严格现场临电管理，使用防漏电开关和漏电保护器，避免触电事故；严把“特种作业人员持证上岗”关，提供符合标准的安全防护用品；在水养池、高处作业处设置防护栏杆和安全警示标识，防止意外发生。

（三）智能化安全管控技术应用

管片生产企业要顺应智能制造发展趋势，充分利用物联网、大数据、人工智能等新技术，大力推广应用智能化安全管控技术，实现安全生产的信息化、自动化、智能化^[5]。在人员管理方面，采用人脸识别、指纹识别、AI识别等技术，建立作业人员实名制管理系统，对进出场人员进行有效管控；针对特种作业人员，采用双重身份验证，确保人证合一；在危险作业区域安装AI视频监控，及时对未授权人员进行预警和拦截。

设备管理方面，在起重设备和危险性较大的特种设备上安装运行检测系统，对设备运行参数实时监测，远程预警和诊断故障。在现场环境管理方面，采用视频监控技术，对重点区域进行24小时不间断监控；部署AI智能识别系统，对未佩戴安全帽、违规着装、违章聚集、门桥式起重机隐患区域实现职能识别，高空作业未系安全带等违章行为进行自动识别和抓拍。通过智能化安全管控技术应用，实现管片生产安全管理由“经验管理”向“智能化”转变，提高安全管理效率和水平。

三、大直径盾构管片生产安全事故应急响应与救援

（一）应急预案编制与演练

完善的事故应急预案是管片生产企业快速响应、有效处置突发事件的关键。要建立健全事故应急预案体系，包括综合应急预案、专项应急预案、现场处置方案等。综合应急预案要明确应急组织体系与职责、应急响应流程、信息报告与发布、应急保障等内容；专项应急预案要针对火灾、机械伤害、触电、高处坠落等生产安全事故，制定详细的处置措施和流程；现场处置方案要结合生产一线实际，明确事故报告、应急处置、人员疏散、伤员救护等具体要求，做到“事故情景清晰、应急措施明确、处置程序可行”，保证以人为本，控制突发事件，科学应急，减少人员伤亡、财产损失及社会影响。

同时要加强应急演练，提高预案的实操性和有效性。每年至少组织一次综合应急预案演练，针对重点场所、关键工序定期开展专项演练。演练前要制定科学的演练方案，明确演练目的、科目、人员、流程等，使演练“接近实战”；演练过程中严格按照预案和处置流程进行操作，及时发现预案存在的不足；演练结束后要认真总结，修订完善预案，强化应急处置实战能力。

（二）应急救援队伍建设

应急救援队伍是应对和处置生产安全事故的骨干力量。管片生产企业要高度重视应急救援队伍建设，组建专兼结合的救援队伍。专职救援队伍要由懂专业、能吃苦、身体素质好的人员组成，要定期进行体能训练和技能培训，确保能够在复杂环境下开展应急作业；兼职救援队伍由生产一线员工组成，要进行应急处置、现场救护等培训，具备扑救初期火灾、搜救被困人员、紧急疏散等能力。

企业主要负责人是救援工作第一责任人，要亲自组

织指挥，各相关部门密切配合、各司其职，形成统一指挥、反应灵敏、协同有序、运转高效的应急指挥系统。要建立应急物资储备制度，配备足够的灭火器材、救生器材、通讯设备、照明设备、个人防护用品等应急物资，确保在突发事件时能够及时调用。此外，要加强与地方应急管理、消防、医疗等部门的协同联动，制定应急救援联动机制，明确分工配合、信息共享、资源调配等内容，形成联动作战、整体应对的应急救援合力。

（三）事故处置与善后处理

万无一失，始终准备万一。管片生产企业一旦发生生产安全事故，必须及时启动应急响应，采取有效措施控制事态发展，减少人员伤亡和财产损失。事故发生后，第一时间报告属地应急管理部门和上级单位，快速组织自救和互救，抢救受伤人员。要严格按照应急预案的要求，落实应急处置的各项措施，主要包括：切断事故源、划定警戒区、紧急疏散人员、组织伤员救治、保护事故现场、开展应急监测等。

事故初步控制后，要配合事故调查和后续处置工作，组织开展事故原因分析，制定整改措施，汲取事故教训，按照“四不放过”原则追责问责。要做好善后处理工作，包括伤员救治、遇难者善后、企业复工复产、心理抚慰等工作。要以对员工高度负责的态度，做好伤亡人员家属的安抚工作，妥善解决相关赔偿问题。事故处置结束后，要及时修订应急预案，优化处置流程，查补短板弱项。要以案为鉴、举一反三，深刻反思事故原因，完善安全生产长效机制，坚决防范类似事故再次发生。

结束语

大直径盾构管片智能制造是隧道工程建设中的关键环节，做好安全生产质量控制至关重要。管片生产企业要树立安全发展理念，完善安全生产责任制，加强全员安全教育培训，优化安全管理体系。要强化生产工艺安全控制，提升设备本质安全水平，加强施工现场安全管理，应用智能化安全管控技术。要完善事故应急预案，加强应急救援队伍建设，提高事故处置能力。通过系统的安全生产质量控制措施，为盾构隧道工程高质量、安全高效建设提供坚实保障。

参考文献

- [1] 晏子雄, 程旺, 白洲宸. 盾构管片智慧工厂的研究与应用[J]. 上海建材, 2024, (02): 81-88.
- [2] 赵光. 超大直径盾构管片生产质量控制要点分析[J]. 建设监理, 2024, (04): 96-98+107.
- [3] 冯军委. 数字技术在大直径盾构管片生产过程的应用研究[J]. 产业科技创新, 2024, 6(02): 44-47.
- [4] 徐菁. 超大直径泥水平衡盾构管片施工质量控制[J]. 工程建设与设计, 2024, (03): 177-180.
- [5] 徐昕, 田雨, 张晓行. 大直径盾构隧道管片智能化生产应用研究[J]. 工程建设与设计, 2023, (02): 110-112.