

地铁管片生产质量控制要点及防控技术分析

瞿继亮

上海建工建材科技股份有限公司第七构件厂 上海 417603

摘要：地铁管片是地铁隧道衬砌的关键部件，其生产质量关乎地铁工程的安全与耐久性。本文系统分析地铁管片生产质量控制要点及防控技术，先阐述其功能、类型与生产工艺流程，接着深入剖析原材料、生产工艺、人员与管理等质量影响因素，针对性给出各环节质量控制要点。同时，详细探讨智能化监测、自动化生产、质量检测与追溯等防控技术，为地铁管片生产企业提供科学策略与先进方案，提升生产质量，降低风险，保障地铁工程稳定运行。

关键词：地铁管片；生产质量；控制要点；防控技术

1 地铁管片生产概述

1.1 地铁管片的功能与类型

地铁管片在地铁隧道工程中承担着多重关键功能。首先，它是隧道的主要承载结构，需承受来自周围土体的压力、地下水压力以及地铁列车运行产生的动荷载等，确保隧道结构的稳定性，防止坍塌事故的发生。其次，地铁管片具备良好的防水性能，有效阻隔地下水的渗透，维持隧道内部干燥的环境，保障地铁设备的正常运行和乘客的安全。此外，其光滑的内表面有助于减少列车运行时的空气阻力，降低噪音。常见的地铁管片类型多样。按材料划分，主要有钢筋混凝土管片、复合管片等。钢筋混凝土管片凭借其较高的强度、耐久性和经济性，在地铁工程中应用最为广泛；复合管片则结合了多种材料的优势，如在钢筋混凝土管片内表面复合钢板，可提高管片的抗渗性和耐磨性，适用于特殊地质条件或对防水、耐磨要求较高的隧道工程。按结构形式分类，有平板型管片、箱型管片等。平板型管片构造简单、制作方便；箱型管片在相同截面积下质量更轻，且内部空间可用于布置预埋件，但制作工艺相对复杂。

1.2 地铁管片生产工艺流程

地铁管片生产是一个复杂且严谨的流程，主要包括原材料准备、钢筋加工与绑扎、模具清理与组装、混凝土制备与浇筑、蒸汽养护、脱模与修补等环节。（1）原材料准备阶段，需严格筛选水泥、砂石、钢筋、外加剂等原材料。水泥应根据管片设计强度等级和耐久性要求，选择合适的品种与强度等级；砂石需满足颗粒级配、含泥量、泥块含量等指标；钢筋要符合规格和力学性能标准；外加剂则根据混凝土性能需求合理选用，如减水剂可改善混凝土的和易性，缓凝剂可延长混凝土的凝结时间。所有原材料进场后，必须按标准进行严格检验，合格后方可投入使用。（2）钢筋加工与绑扎环节，

先依据设计图纸对钢筋进行下料、弯曲、焊接等加工操作，确保钢筋尺寸精度和连接质量。之后将加工好的钢筋在模具内进行绑扎，形成钢筋骨架，同时严格控制钢筋间距、保护层厚度等参数，保证钢筋骨架的稳定性和准确性。（3）模具清理与组装是保证管片尺寸精度和外观质量的重要步骤。使用前需彻底清理模具表面的杂物和残留混凝土，检查模具是否存在变形、磨损等问题，并涂刷隔离剂便于脱模。组装时，确保模具拼接紧密，尺寸符合设计要求，通过螺栓或其他连接方式固定牢固。（4）混凝土制备与浇筑过程中，按照设计配合比将原材料投入搅拌机进行搅拌，严格控制搅拌时间和加料顺序，保证混凝土搅拌均匀、和易性良好。浇筑时，采用分层浇筑的方式，控制浇筑速度和高度，利用振捣设备充分振捣，使混凝土密实，避免出现蜂窝、孔洞等缺陷^[1]。（5）蒸汽养护环节能加速混凝土强度增长，缩短生产周期。混凝土浇筑完成后，将模具连同管片送入养护窑，按照预设的升温、恒温、降温曲线控制养护温度和时间，确保混凝土在适宜的环境中硬化。当混凝土强度达到规定要求后，进行脱模操作，脱模过程需小心谨慎，避免对管片造成损伤。脱模后，对管片表面存在的小缺陷进行修补，保证管片外观质量。

2 地铁管片生产质量影响因素分析

2.1 原材料因素

原材料质量是影响地铁管片生产质量的基础，水泥强度不足或安定性不合格，会导致管片强度不达标，在使用过程中可能出现开裂、破损等问题。砂石的颗粒级配不良会影响混凝土的流动性和密实性，含泥量过高会降低水泥与骨料之间的粘结力，使管片强度和耐久性下降。钢筋的规格不符合设计要求或存在锈蚀现象，会削弱管片的承载能力；锈蚀产生的膨胀力还可能导致混凝土保护层开裂，进一步影响管片的使用寿命。

2.2 生产工艺因素

生产工艺各环节的控制精度对地铁管片质量有着直接影响，钢筋加工精度不足，如钢筋下料长度偏差过大、弯曲角度不符合设计要求，会导致钢筋骨架尺寸不准确，影响管片的受力性能。钢筋绑扎不牢固，在混凝土浇筑过程中可能发生移位，使钢筋无法有效发挥作用。模具清理不干净、组装不严密，会导致管片表面出现麻面、漏浆等缺陷，影响管片外观质量和尺寸精度；模具长期使用后出现变形，若未及时校准，会使生产出的管片尺寸超差，影响隧道拼装质量。混凝土配合比设计不合理，会导致混凝土强度、耐久性和工作性不满足要求；搅拌不均匀会使混凝土性能不稳定，各部位强度差异较大。浇筑过程中，振捣方式不当、振捣时间不足或过长，会使混凝土内部不密实或产生分层离析，形成蜂窝、孔洞等缺陷。蒸汽养护制度不合理，如升温速度过快会导致混凝土表面开裂，恒温时间不足会影响混凝土强度增长，降温速度过快会使管片产生较大的温差应力，导致裂缝产生。

2.3 人员与管理因素

操作人员的技术水平和质量意识对地铁管片生产质量起着关键作用，技术不熟练的操作人员可能无法准确控制生产工艺参数，如钢筋加工尺寸偏差、混凝土搅拌时间控制不当、振捣操作不规范等，从而导致管片质量问题。质量意识淡薄的人员，容易忽视质量标准和操作规程，在生产过程中简化流程、降低要求，如不按规定进行原材料检验、随意更改混凝土配合比等。生产管理制度不完善、质量监督机制不健全，会使质量控制缺乏有效约束^[2]。缺乏明确的岗位责任制度，导致各环节工作责任不清，出现问题时相互推诿；质量检验频次不足或检验项目不全，无法及时发现质量隐患；没有建立有效的质量追溯体系，在出现质量问题时难以查明原因和追究责任，不利于质量改进和预防措施的制定。

3 地铁管片生产质量控制要点

3.1 原材料质量控制要点

制定严格的原材料采购质量标准，对水泥、砂石、钢筋、外加剂等原材料的各项技术指标作出明确规定。建立完善的供应商评估与选择机制，对供应商的生产能力、质量保证体系、信誉等进行综合评价，优先选择质量可靠、信誉良好的供应商。原材料进场时，必须按照相关标准进行严格检验，水泥需检验强度、安定性、凝结时间等指标；砂石要检测颗粒级配、含泥量、泥块含量；钢筋需进行拉伸、弯曲试验；外加剂要检验性能指标是否符合要求。检验合格后方可入库，不合格原材

料坚决退场，并做好记录，防止再次采购不合格产品；规范原材料存储管理，水泥应存放在干燥、通风的仓库内，避免受潮结块，不同品种、强度等级的水泥应分开存放并做好标识；砂石应按规格分别堆放，设置隔离设施防止混杂，同时采取覆盖措施避免雨水冲刷和灰尘污染；钢筋应架空堆放，做好防锈措施，防止锈蚀；外加剂应分类存放，标识清晰，避免混用。定期对库存原材料进行检查，防止原材料在存储过程中变质、锈蚀。

3.2 钢筋加工与绑扎质量控制要点

明确钢筋加工尺寸精度要求，钢筋下料长度偏差应控制在允许范围内，弯曲角度符合设计图纸规定。采用先进的钢筋加工设备和精确的测量工具，如数控钢筋弯曲机、智能钢筋切断机等，确保加工精度。钢筋绑扎时，严格按照设计图纸进行操作，控制好钢筋间距、位置和连接质量。钢筋连接方式可采用焊接、机械连接或绑扎连接，无论采用何种方式，均需保证连接强度和可靠性，如焊接接头应饱满、无夹渣、无气孔，绑扎接头应牢固，绑扎丝不得松动。加强对钢筋保护层厚度的控制，采用合适的垫块或马凳，确保钢筋保护层厚度符合设计要求，防止钢筋锈蚀和混凝土开裂。

3.3 模具质量控制要点

确定模具的设计制造标准，模具应具有足够的强度、刚度和精度，能够承受混凝土浇筑过程中的侧压力和施工荷载，且保证管片尺寸偏差在允许范围内。模具表面应平整光滑，拼接缝严密，防止漏浆。使用前，对模具进行全面检查，清理模具表面杂物和残留混凝土，修复磨损或损坏部位，涂刷隔离剂，确保隔离剂涂抹均匀，便于脱模。安装过程中，严格控制模具位置和尺寸，采用高精度测量仪器进行校准，确保模具拼接紧密，支撑牢固。定期对模具进行维护和校准，根据使用次数和时间，制定合理的模具检修计划，及时发现和处理模具变形、磨损等问题，保证模具长期稳定运行^[3]。

3.4 混凝土生产与浇筑质量控制要点

通过试配确定最佳混凝土配合比，综合考虑管片强度、耐久性、抗渗性和工作性等性能要求，同时结合原材料特性和施工条件进行调整。混凝土搅拌过程中，严格控制搅拌时间和加料顺序，确保混凝土搅拌均匀。定期对搅拌机进行校准和维护，保证搅拌设备的性能稳定，防止因搅拌不均匀导致混凝土质量波动。混凝土浇筑时，控制浇筑速度和高度，采用分层浇筑的方式，每层浇筑厚度不宜过大，避免混凝土产生离析。选择合适的振捣方式和振捣设备，控制振捣时间和振捣间距，振捣应密实均匀，避免过振或漏振，防止出现蜂窝、孔洞

等缺陷。在浇筑过程中，随时观察模具和钢筋情况，如有漏浆、钢筋移位等异常及时处理。

3.5 养护环节质量控制要点

根据混凝土特性和生产工艺要求，选择适宜的养护方式，如蒸汽养护。制定合理的蒸汽养护制度，明确升温、恒温、降温阶段的温度、湿度和时间参数。升温速度不宜过快，一般控制在 $15\text{--}20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，避免混凝土表面因升温过快产生裂缝；恒温阶段温度应控制在合适范围，使混凝土强度快速增长，同时保证恒温时间充足；降温速度也需严格控制，一般不超过 $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，防止管片因温差过大产生裂缝。在养护期间，定期对养护窑内的温度、湿度进行监测和记录，确保养护条件满足要求。对于采用自然养护的管片，在混凝土浇筑完成后及时覆盖塑料薄膜或湿草帘，并定期洒水保湿，保持混凝土表面湿润，养护时间应符合相关标准和设计要求。

4 地铁管片生产质量防控技术分析

4.1 智能化监测技术

利用传感器技术、物联网技术和大数据分析，实现地铁管片生产过程的智能化监测。在混凝土浇筑过程中，通过预埋温度传感器、应力传感器，实时监测混凝土内部温度和应力变化情况。当温度过高或应力出现异常时，系统自动报警，并及时采取相应措施进行处理，如调整养护温度、加强振捣等，防止温度裂缝和应力裂缝的产生。利用物联网技术，将生产设备（如搅拌机、振捣设备、养护窑等）与数据平台连接，实现生产数据的自动采集、传输与分析。通过大数据分析，优化生产工艺参数，如根据混凝土强度增长数据调整养护制度，根据搅拌设备运行数据优化搅拌时间和转速等，实现生产过程的精准控制，提高生产质量和效率。

4.2 自动化生产技术

自动化生产技术在地铁管片生产中的应用可有效提高生产精度和效率，减少人为因素对质量的影响。采用自动化钢筋加工设备，如全自动钢筋弯曲中心、钢筋焊接机器人等，能够精确控制钢筋加工尺寸和连接质量，提高钢筋加工的自动化程度和生产效率。智能模具系统可实现模具的自动清理、组装和校准，通过传感器和控制系统，确保模具尺寸精度和拼接质量，减少人工操作

误差。混凝土自动化浇筑设备，如自动布料机、智能振捣机器人等，能够按照预设程序精确控制混凝土浇筑速度、高度和振捣方式，保证混凝土浇筑的均匀性和密实性。自动化生产技术的应用，使地铁管片生产过程更加标准化、规范化，有效提升产品质量稳定性^[4]。

4.3 质量检测与追溯技术

先进的质量检测技术是保障地铁管片质量的重要手段，采用无损检测技术，如超声检测、雷达检测等，可对管片内部质量进行检测，及时发现混凝土内部的空洞、疏松等缺陷。超声检测通过分析超声波在混凝土中的传播速度、波形等参数，判断混凝土的密实度和完整性；雷达检测利用电磁波在混凝土中的传播特性，检测混凝土内部结构和缺陷情况。同时，建立质量追溯体系，利用二维码、RFID等技术，为每片管片赋予唯一标识。在生产过程中，记录原材料来源、生产工艺参数、质量检验结果等信息，并与管片标识相关联。在管片使用过程中，一旦出现质量问题，可通过扫描标识快速追溯到生产过程的各个环节，查明原因，追究责任，并采取针对性的改进措施，有效预防类似质量问题的再次发生。

结束语

总之，地铁管片作为地铁隧道的关键组成部分，其生产质量直接关系到地铁工程的安全性和耐久性。通过对原材料、生产工艺、人员与管理等因素的严格把控，结合智能化监测、自动化生产以及质量检测与追溯等先进技术的应用，可以显著提升地铁管片的生产质量和效率。未来，随着技术的不断进步和创新，地铁管片生产将更加智能化、精细化，为地铁工程的安全稳定运行提供更加坚实的保障。

参考文献

- [1]高照领.地铁管片生产工艺及外观质量控制措施的探讨[J].四川建材, 2021,47(5):179-180.
- [2]许兴旺.一种大流动度管片混凝土的工艺浅析[J].混凝土世界, 2021(11): 88-90.
- [3]辛学礼.合肥地铁盾构段单圆隧道的管片生产工艺方案[J].价值工程,2020,39(36): 144-145.
- [4]刘庚.地铁钢筋混凝土管片生产质量控制措施[J].城市住宅, 2020, 27(4):166-167.