公路工程混凝土强度检测技术的相关探讨

周咸明
四川东坤工程检测有限公司　四川　成都　610041

摘　要：本文聚焦公路工程混凝土强度检测技术，先介绍无损（回弹法、超声法等）与有损（钻芯法、拔出法）检测技术类型，分析材料、施工、环境及检测技术本身等因素对检测结果的影响，提出检测技术改进创新、过程质量控制及多种技术综合应用等优化措施，并结合高速公路路面和公路桥梁混凝土结构强度检测案例，为公路工程混凝土强度检测提供参考。

关键词：公路工程；混凝土强度；检测技术

引言：在公路工程建设中，混凝土作为关键材料，其强度直接关乎工程质量与安全。准确检测混凝土强度，是保障公路工程耐久性和可靠性的重要环节。随着公路建设规模扩大与技术发展，对混凝土强度检测技术提出更高要求。本文深入探讨公路工程混凝土强度检测技术，分析影响因素，提出优化措施，并通过实际案例验证，以期为行业发展提供有益借鉴。

1 公路工程混凝土强度检测技术的类型

1.1 无损检测技术

1.1.1 回弹法

无损检测技术凭借其不破坏混凝土结构、可重复检测等显著优势，在公路工程中得到了极为广泛的应用。回弹法通过回弹仪测量混凝土表面的硬度，依据表面硬度与混凝土强度之间的内在关系来推算混凝土强度。相关研究表明，在正常施工和使用条件下，回弹法检测混凝土强度的误差一般可控制在±15%以内。以某大型高速公路项目为例，在路面混凝土强度检测中，检测人员使用高精度回弹仪，按照规范要求在路面上均匀布置了200个测区，每个测区设置16个测点。通过对大量回弹数据的采集与分析，运用先进的统计方法建立了适合该地区混凝土材料的回弹值-强度回归方程。经实际验证，该方程预测的混凝土强度与后续钻芯法检测结果高度吻合，误差在±12%以内，为路面质量评估提供了准确可靠的依据。

1.1.2 超声法

超声法利用超声波在混凝土中的传播特性，如传播速度、振幅等参数与混凝土强度之间的紧密关系来检测混凝土强度。一般来说，混凝土强度越高，其内部结构越密实，超声波传播速度就越快[1]。某研究团队针对不同强度等级的混凝土试件进行了系统的超声检测试验。试验结果显示，当混凝土强度处于C20-C50范围时，超声波传播速度与强度之间呈现出良好的线性关系，相关系数高达0.92。在实际工程中，某公路隧道衬砌混凝土强度检测采用了超声法，检测人员在隧道不同位置布置了50个测点，通过测量超声波在混凝土中的传播时间，计算出传播速度，并结合预先建立的强度-速度关系模型，准确评估了隧道衬砌混凝土的强度分布情况，为隧道的安全评估提供了重要数据支持。

1.1.3 超声回弹综合法

超声回弹综合法巧妙地结合了回弹法和超声法的优点，既能反映混凝土的表面硬度，又能深入了解其内部结构，因此检测结果更为准确全面。相关实验数据显示，超声回弹综合法检测混凝土强度的误差可控制在±10%以内。在一座大型跨江公路桥梁的混凝土结构检测中，为了精确评估桥梁主梁的混凝土强度，检测人员采用了超声回弹综合法。他们在主梁的不同截面共布置了30个测区，每个测区同时进行超声检测和回弹检测。通过对超声声速和回弹值的综合分析，结合先进的数值模型计算，得出桥梁主梁混凝土强度的详细分布图。与后续的钻芯法检测结果对比发现，两种方法得出的强度值误差在±9%以内，充分证明了超声回弹综合法在大型混凝土结构检测中的准确性和可靠性。

1.2 有损检测技术

1.2.1 钻芯法

有损检测技术通常需要从混凝土结构中取样，然后在实验室进行详细的试验分析，以确定混凝土的实际强度。钻芯法是直接从混凝土结构中钻取芯样，在压力试验机上进行抗压强度试验，从而获得混凝土的实际强度。然而，钻芯法会对混凝土结构造成一定程度的损伤，且取样位置和数量受到一定限制。根据相关规范要求，在采用钻芯法检测混凝土强度时，芯样的直径一般不小于骨料最大粒径的3倍，且同一结构或构件上的芯样数量不宜少于3个。在某高速公路立交桥的混凝土强

度检测中，为了准确评估桥墩的混凝土质量，检测人员在桥墩的不同高度和方位钻取了5个芯样，芯样直径为150mm。将芯样加工成标准试件后，在压力试验机上进行抗压试验，测得芯样的抗压强度值。

1.2.2 拔出法

拔出法通过在混凝土表面安装锚固件，然后施加拉力将锚固件从混凝土中拔出，根据拔出力与混凝土强度之间的关系来推算混凝土强度。该方法操作相对简便，对混凝土结构的损伤较小。相关研究表明，拔出法检测混凝土强度的误差一般在±12%以内。在某城市公路框架桥的混凝土强度检测中，检测人员采用了拔出法。他们在框架桥的梁和柱上共设置了20个测点，每个测点安装特制的锚固件。通过专业的拔出试验设备施加拉力，记录拔出力的大小，并结合预先建立的拔出力-强度关系曲线，计算出各测点的混凝土强度。与同条件养护的试块抗压试验结果对比发现，拔出法检测结果与试块试验结果误差在±11%以内，验证了拔出法在城市公路小型混凝土结构检测中的有效性。

2 影响公路工程混凝土强度检测结果的因素

2.1 材料因素

混凝土的材料组成对其强度检测结果有着重要影响。水泥的品种、强度等级、用量以及骨料的种类、粒径、级配等都会直接或间接影响混凝土的强度。例如，不同产地、不同品种的水泥，其化学成分和矿物组成存在差异，对混凝土强度的发展也有不同影响。某研究对三种不同品牌但强度等级相同的水泥配制的混凝土进行强度检测试验。试验结果如下表所示：

水泥品牌	28天强度（MPa）	与平均强度差值（MPa）
品牌A	42.5	1.8
品牌B	40.7	0
品牌C	39.2	-1.5

由上表可知，由于水泥的细度、碱含量等指标不同，三种水泥配制的混凝土在相同养护条件下，28天强度存在一定差异，最大差异达到10%。此外，骨料的粒径过大或级配不良会导致混凝土内部孔隙率增加，降低混凝土的密实度，从而影响强度发展。

2.2 施工因素

施工过程中的搅拌、浇筑、振捣、养护等环节都会对混凝土的强度产生显著影响。搅拌不均匀会导致混凝土中各组分分布不均，使得部分区域水泥含量过高或过低，从而影响强度发展；浇筑和振捣不当会使混凝土内部产生孔洞、蜂窝等缺陷，降低混凝土的密实性和强度；养护条件对混凝土强度的发展至关重要，养护温度、湿度和养护时间不足都会影响水泥的水化反应，进而影响混凝土强度增长。以某公路工程为例，在施工过程中，由于搅拌设备故障导致部分混凝土搅拌不均匀。在后续的强度检测中发现，搅拌不均匀区域的混凝土强度比正常搅拌区域降低了10%-15%。另外，在夏季高温干燥环境下施工的某段公路，由于养护不及时，混凝土表面水分蒸发过快，出现干裂现象，经检测发现该部位混凝土强度比正常养护部位降低了12%-18%。

2.3 环境因素

环境温度和湿度对混凝土强度的发展有着重要影响。在低温环境下，混凝土的水化反应速度减慢，强度增长缓慢；在高温环境下，混凝土表面水分蒸发过快，容易导致混凝土开裂，影响强度发展。湿度不足会使混凝土水分过早散失，影响水泥的水化反应，从而降低混凝土强度。某研究团队对在不同温度和湿度条件下养护的混凝土试件进行强度检测试验。试验结果显示，在5℃低温环境下养护的混凝土试件，28天强度比在20℃标准环境下养护的试件降低了15%-20%；而在35℃高温且相对湿度低于50%的环境下养护的试件，28天强度比标准环境下养护的试件降低了12%-16%。这充分说明环境因素对混凝土强度发展的显著影响。

2.4 检测技术本身因素

不同的检测技术都有其适用范围和局限性，检测设备的精度、检测人员的操作水平等也会影响检测结果的准确性。例如，回弹仪的率定值不准确、超声波检测仪的换能器性能不稳定等都会导致检测误差增大；检测人员对检测标准的理解不准确、操作不规范等也会影响检测结果的可靠性。某检测机构在对同一混凝土结构进行回弹法检测时，由于不同检测人员对回弹仪的使用方法掌握程度不同，检测结果存在一定差异。

3 公路工程混凝土强度检测技术的优化措施

3.1 检测技术的改进与创新

随着科技的不断进步，应积极推动混凝土强度检测技术的改进与创新。近年来，一些研究机构开始将图像识别技术应用于混凝土强度检测中。通过对混凝土表面图像的分析，提取与强度相关的特征参数，如裂缝形态、表面粗糙度等，结合机器学习算法建立强度预测模型。相关实验表明，采用图像识别技术结合机器学习算法预测混凝土强度的误差可控制在±8%以内，为混凝土强度检测提供了新的思路和方法[3]。

3.2 检测过程的质量控制

加强检测过程的质量控制是确保检测结果准确可靠的关键。应严格按照检测标准和规范进行操作，定期对

检测设备进行校准和维护，确保设备的精度和性能稳定；加强对检测人员的培训和管理，提高检测人员的业务水平和操作技能；建立完善的检测数据管理制度，确保检测数据的真实性和完整性。某检测机构建立了严格的质量控制体系，对检测设备的校准周期、检测人员的操作规范、检测数据的记录和审核等都做出了明确规定。该机构定期组织检测人员进行业务培训和技能考核，确保检测人员熟悉最新的检测标准和方法。同时采用先进的检测数据管理系统，对检测数据进行实时监控和备份，防止数据丢失和篡改。

3.3 多种检测技术的综合应用

由于每种检测技术都有其局限性，综合应用多种检测技术可以充分发挥各技术的优势，提高检测结果的准确性。在一座大型公路隧道的混凝土衬砌强度检测中，检测人员采用了回弹法、超声法和钻芯法相结合的方法。首先使用回弹法和超声法对隧道衬砌进行全面检测，共布置了100个测区，获取了大量的回弹值和超声声速数据。通过对这些数据的初步分析，确定了可能存在强度异常的区域。然后，在这些区域选取了8个位置进行钻芯取样，将钻芯法检测结果与回弹法和超声法检测结果进行对比分析。通过多种检测方法的相互验证和补充，准确评估了隧道衬砌混凝土的强度分布情况，为隧道的安全评估和加固设计提供了可靠依据。

4 公路工程混凝土强度检测技术的工程应用案例

4.1 案例一：某高速公路路面混凝土强度检测

某高速公路在通车5年后，发现部分路段路面出现裂缝、坑槽等病害。为了评估路面混凝土强度是否满足设计要求，为后续的维修加固提供依据，采用了回弹法和钻芯法相结合的方法进行检测。检测人员首先使用回弹仪对路面混凝土进行大面积回弹检测，共检测了150个测区，每个测区布置16个测点。根据回弹值，按照相关规范计算出每个测区的混凝土强度换算值，并绘制了路面混凝土强度分布图。从分布图可以看出，部分路段混凝土强度换算值低于设计强度等级。为了验证回弹法检测结果的准确性，在回弹检测结果异常的区域选取了6个位置进行钻芯取样，芯样直径为100mm。将芯样在压力试验机上进行抗压强度试验，得到芯样的实际抗压强度。对比分析发现，钻芯法检测结果与回弹法检测结果基本吻合，误差在±10%以内。通过对检测结果的综合分析，认为路面混凝土强度不足是导致路面出现病害的主要原因之一。据此，对该路段路面进行了局部修补和加固处理，并加强了后续的养护管理。

4.2 案例二：某公路桥梁混凝土结构强度检测

某公路桥梁在运营10年后，发现部分梁体出现裂缝。为了评估桥梁混凝土结构的强度和安全性，采用了超声回弹综合法和钻芯法相结合的方法进行检测。检测人员在梁体的不同部位共布置了40个测区，每个测区同时进行超声检测和回弹检测[4]。根据超声声速和回弹值，结合预先建立的强度-声速-回弹关系模型，计算出每个测区的混凝土强度推定值，并绘制了梁体混凝土强度分布云图。从云图可以看出，部分区域混凝土强度推定值低于设计强度等级。为了进一步确认检测结果，在超声回弹综合法检测结果较低的区域选取了4个位置进行钻芯取样，芯样直径为150mm。对芯样进行抗压强度试验，得到芯样的实际抗压强度。对比分析表明，钻芯法检测结果与超声回弹综合法检测结果具有较好的一致性，误差在±9%以内。通过对检测结果的综合分析，认为梁体混凝土强度不足是导致梁体出现裂缝的主要原因之一。根据检测结果，对该桥梁进行了加固处理，采用粘贴碳纤维布的方法提高梁体的承载能力，并加强了对桥梁的日常监测和维护。

结束语

公路工程混凝土强度检测至关重要，关乎工程安全与质量。本文探讨了多种检测技术、影响因素及优化措施，并通过实际案例验证了综合检测方法的有效性。未来，随着科技持续进步，应不断研发更精准高效的检测技术与设备，加强检测过程管理，提高检测人员素质，为公路工程建设提供坚实保障，推动行业高质量发展。

参考文献

[1]史兴波.试论公路工程水泥混凝土强度检测与评定[J].四川水泥,2021(07):1-2.

[2]张明娇.公路工程水泥混凝土强度检测与评定分析[J].智能城市,2021,7(03):83-84.

[3]沙比拉·库吾尔鲁西.公路工程施工中的混凝土抗压强度检测分析[J].工程机械与维修,2022(04):104-105.

[4]乔从伟.公路工程混凝土强度检测分析[J].交通建设与管理,2022(01):88-89.