

建筑工程无机非金属材料水泥与混凝土的检测分析

王彩云 冉进华 宓宇

北京紫衡轩建筑工程检测有限公司, 北京 102400

[摘要]水泥、混凝土是建筑领域消耗量最多的无机非金属材料,它们的质量好坏直接影响建筑物的安全性和耐久性问题。文章主要对水泥、混凝土的检测进行研究,在介绍了水泥、混凝土一般性质基础上,详细介绍了水泥物理性能、力学性能、化学成分测试项目及方法;新拌混凝土、硬化混凝土力学性能、耐久性和无损检测技术等。文中在重要部分加入了表格形式来展示测试结果与国标规定限值比较情况,最后还给出了检测数据分析、质量控制有关注意事项,以便于施工过程中对材料进行检验时参照使用。

[关键词]水泥;混凝土;无机非金属材料;检测方法

DOI: 10.33142/aem.v8i2.19036

中图分类号: TQ172.13

文献标识码: A

Testing and Analysis of Inorganic Non-metallic Materials Cement and Concrete in Construction Engineering

WANG Caiyun, RAN Jinhua, MI Yu

Beijing Zihengxuan Construction Engineering Testing Co., Ltd., Beijing, 102400, China

Abstract: Cement and concrete are the most consumed inorganic non-metallic materials in the construction field, and their quality directly affects the safety and durability of buildings. The article mainly studies the detection of cement and concrete. Based on the introduction of the general properties of cement and concrete, it details the physical properties, mechanical properties, chemical composition testing items and methods of cement; Mechanical properties, durability, and non-destructive testing techniques for fresh concrete and hardened concrete. A table format was added in the important part of the article to display the comparison between the test results and the national standard limit values. Finally, precautions for testing data analysis and quality control were also provided for reference during material inspection during the construction process.

Keywords: cement; concrete; inorganic non-metallic materials; detection method

引言

伴随着我国建筑业迅速发展,对水泥、混凝土需求越来越大,对其质量控制也越来越严格。对无机非金属材料水泥、混凝土的检验需按批次随机抽样,根据不同的水泥种类选择相应的检测方法。水泥、混凝土的质量性能检验不但影响到建筑工程施工能否正常进行而且也直接影响到建筑物使用寿命以及安全性。

目前我国已经有一套比较完善水泥、混凝土检测标准,如 GB175《通用硅酸盐水泥》、GB/T176《水泥化学分析方法》、GB/T50081《混凝土物理力学性能试验方法标准》等国家标准,为材料质量评价提供技术支持。本文主要根据有关标准及工程实际经验,对水泥和混凝土的检测内容、方法进行总结。

1 无机非金属材料水泥与混凝土的基本特性

水泥是指加水搅拌后能产生塑性浆体,在空气中或水中硬化并能把砂石等黏接在一起的一种水硬性胶凝材料。它的水化硬化是一个复杂的过程,其中含有许多不同的化学变化,主要由四种矿物组成:硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙、铁铝酸四钙,它们各自的水化速度以及形成的产物特性都影响着水泥的发展强度及耐久性。而混凝土是由水泥、水、细骨料、粗骨料、外加剂等以适当的比例混合而成的一种复合材料。新拌混凝土要有较好的流动性,易于运输、浇筑和振捣密实;硬化之后要满足设计的强度要求并且满足其所处环境对它的耐久性要求。混凝土的性能除了受原材料影响外,还与其配比、施工、养护等有关联。水泥和混凝土是建筑工程中经常使用的建筑材料,它们的质量以及性能的检测对于保障建筑的安全有着举足轻重

的意义。

2 水泥材料的检测内容与方法

2.1 水泥物理性能检测

水泥物理性能检测是评定水泥基本性质的重要工作，主要有细度、标准稠度用水量、凝结时间和安定性等项目。细度可用负压筛析法或勃氏比表面积法进行测定，前者测得的是 45 μm 或 80 μm 筛余百分数，后者得到的是水泥的比表面积，而细度对于水泥水化进程以及早期强度产生影响；标准稠度用水量用维卡仪法测定，是为了凝结时间和安定性试验提供一个统一的标准用水量。根据 GB/T 1346—2011 的规定，当用维卡仪法测试时，试杆下沉至距离底板 4 \pm 1mm 处即达到初凝点，而下沉至距离底板小于等于 0.5mm 处即达到终凝点。凝结时间指初凝、终凝，初凝时间太短会影响混凝土运输、浇筑，而终凝时间太长又会造成施工延误。安定性试验可采用雷氏夹法或者试饼法，雷氏夹膨胀率测定法（标准法）以及试饼法（代用法）结合使用，蒸煮箱应能在 30 \pm 5min 内加热至沸腾并且保持恒温 3h \pm 5min，安定性不合格的水泥会导致混凝土出现体积膨胀性裂缝，严禁使用。

2.2 水泥力学性能检测

水泥力学性能检测主要是强度试验，一般测试 3d、28d 抗折强度与抗压强度。试验依据 GB/T 17671—1999（ISO 法）进行，规定在温度（20 \pm 1） $^{\circ}\text{C}$ 、湿度大于等于 90% 环境中将所制备的 40mm \times 40mm \times 160mm 棱柱体试块养护到相应龄期。胶砂配合比为水泥：标准砂：水=1：3：0.5，在行星式胶砂搅拌机中搅拌，在震动台上成形。抗折试验用中心加荷法，加载速度为 50N/s \pm 10N/s；抗压试验用夹具加压，加载速度为 2400N/s \pm 200N/s。强度值计算精确到 0.1MPa，取一个试样三个试件平均值为测定值。水泥强度等级就是以 28d 抗压强度来划分，是工程中重要的参数之一。

2.3 水泥化学成分检测

水泥化学成分检测是为了控制有害成分含量，保证水泥具有良好的长期稳定性。主要检测项目是烧失量、不溶物、三氧化硫、氧化镁、氯离子和主要氧化物（SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃、CaO）。GB/T176—2017《水泥化学分析方法》增加了电感耦合等离子体发射光谱法（ICP-OES）、离子色谱法；规定了标准滴定溶液有效期；增加了氯离子测定方法-（自动）电位滴定法和离子色谱法；增加了游离氧化钙测定方法-乙二醇萃取-EDTA 滴定法。烧失量表示水泥在高温下失去的质量，主要是由于水泥中的碳酸盐和有机物造成的；三氧化硫含量过高会造成水泥体积安定

性不良；氧化镁含量过高会造成水泥长期体积膨胀；氯离子含量过高会加快钢筋锈蚀从而影响混凝土结构使用寿命。目前常用 X 射线荧光光谱法（GB/T 176—2017）测定主要氧化物，具有快速、准确、多元素同时分析的优点。

2.4 水泥检测结果分析与质量评定

水泥检测结果分析及质量评价是水泥质量管理和控制工作的最后一步，主要任务是各种物理性质、力学性质和化学性质的检测结果综合起来，对照国家行业标准 GB175《通用硅酸盐水泥》中相应技术指标的要求一一检验是否达到标准规定要求。只要细度、凝结时间、安定性、不同龄期强度、烧失量、三氧化硫、氧化镁、氯离子等所有检测项目都符合有关要求，这一批水泥就可以认为是合格产品，可以用于工程施工；反之，如果有一项或者多项不符合要求，则应判定为不合格，按有关规定作退货或者降级使用处理，不能用于承重结构。而在实际评定中，检测人员也应当注意数据是否合理、分散程度如何，比如如果某个强度值过高或者过低，则需要查看该试块制备有无问题，必要时重新试验。表 1 是某批次普通硅酸盐水泥试验结果，可以很清楚看出各个项目是否满足要求。而这种表格不仅可以迅速判断出水泥质量等级，还可以给以后混凝土配合比设计提供真实可靠水泥强度，保证工程建设有效性和安全性。

表 1 普通硅酸盐水泥（P.O 42.5）检测结果与质量评定

检测项目	标准限值	检测值	单项判定
细度（80 μm 筛余%）	\leq 10.0	4.2	合格
标准稠度用水量（%）	-	27.5	-
初凝时间（min）	\geq 45	185	合格
终凝时间（min）	\leq 600	245	合格
安定性（雷氏夹法，mm）	\leq 5.0	1.5	合格
3d 抗折强度（MPa）	\geq 3.5	4.8	合格
3d 抗压强度（MPa）	\geq 17.0	22.6	合格
28d 抗折强度（MPa）	\geq 6.5	7.9	合格
28d 抗压强度（MPa）	\geq 42.5	48.3	合格
烧失量（%）	\leq 5.0	3.2	合格
三氧化硫（%）	\leq 3.5	2.4	合格
氧化镁（%）	\leq 5.0	2.1	合格
氯离子（%）	\leq 0.06	0.03	合格

3 混凝土性能检测与分析

3.1 新拌混凝土性能检测

新拌混凝土性能试验包括工作性、含气量、表观密度及凝结时间等。工作性是指混凝土拌合物便于施工（搅拌、运输、浇筑、振捣）并且能够形成均匀密实结构的能力，

一般以坍落度或者维勃稠度来表示。高性能混凝土的工作性试验重点考察新拌混凝土的工作性和耐久性,主要包括的内容有坍落度(范围在 50~250mm 之间)、流动度(大于等于 600mm)、初凝时间(1~4h)、终凝时间(3~8h)、空气含量(4%~8%)、泌水率(不大于 0.5%)。坍落度试验适用于流动性大混凝土,操作方法是将拌合物分三层装入坍落度筒中,每层插捣 25 次,刮平后垂直提起坍落度筒,量筒高与坍落后试件最高点间距离就是坍落度数值。维勃稠度试验适用于干硬性混凝土,在振动台上测定拌合物在一定振动下从圆锥形变为圆柱形所需要时间。含气量测定用气压法或水压法,在对抗冻有较高要求情况下,含气量是一个非常重要的参数。新拌混凝土的凝结时间测定用贯入阻力法,初凝时间为贯入阻力达到 3.5MPa 时,终凝时间为贯入阻力达到 28MPa 时。

3.2 硬化混凝土力学性能检测

硬化混凝土力学性能检测主要是抗压强度,还有抗折强度、劈裂抗拉强度以及弹性模量等,这些都是衡量混凝土结构受力大小的重要依据。抗压强度测试按 GB/T 50081—2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》执行,该标准对试件成型、养护条件、仪器精度、加载速度以及结果处理都有详细要求。试件一般为边长 150mm 的立方体,在温度 20±2℃、相对湿度大于 95% 的标准养护室中养护 3d、7d、28d 等不同时间。加载速度应根据混凝土强度等级适当选取,一般混凝土强度等级小于等于 C30,采用 0.3~0.5MPa/s,大于 C30,采用 0.5~0.8MPa/s,匀速、连续加载到试件破坏为止^[1]。强度精确到小数点后一位,一组三个试件测试结果算术平均值得到一组强度代表值;如果最大值或者最小值与中间值相差超过中间值 15%,则取中间值;如果最大值和最小值都超出中间值 15%,那么这一组试块作废。除了抗压强度以外,抗折强度试验用来评价道路或者机场跑道上的混凝土弯拉能力,劈裂抗拉强度也能一定程度上反映混凝土的抗裂性,弹性模量是表示混凝土受力发生变形大小的一个指标,在工程设计中起着非常重要的作用。

表 2 不同配合比混凝土力学性能试验结果

试件编号	水灰比	水泥用量 (kg/m ³)	3d 抗压 (MPa)	7d 抗压 (MPa)	28d 抗压 (MPa)	28d 劈裂 抗拉 (MPa)
C30-1	0.45	380	18.6	27.3	38.2	2.86
C30-2	0.50	340	15.2	23.5	33.7	2.54
C40-1	0.38	420	24.3	35.8	48.6	3.42
C40-2	0.42	390	20.7	31.2	43.1	3.05
C50-1	0.32	480	32.5	47.6	58.9	4.12

表 2 给出了不同配合比混凝土的力学性能检测结果,可以看出水灰比对混凝土强度的影响规律,随着水灰比减小,各个龄期的抗压强度以及劈裂抗拉强度都大幅度提高,这对于配合比的选择具有很强指导意义。

3.3 混凝土耐久性检测

混凝土耐久性是指混凝土抵抗周围环境中各种有害因素的影响而保持其强度及其他物理力学性质的能力,主要有抗渗性、抗冻性、抗氯离子渗透、抗碳化、抗硫酸盐侵蚀等。根据《混凝土长期性能和耐久性试验方法标准》GB/T 50082-2024,其主要内容有抗冻试验、动弹性模量试验、抗水渗透试验、抗氯离子渗透试验、收缩试验、早期抗裂试验、碳化试验、混凝土中钢筋锈蚀试验、抗硫酸盐侵蚀试验、碱-骨料反应试验等。抗渗试验可用渗水高度法或逐级加压法来测试混凝土抵抗压力水渗透能力。抗冻试验可用慢冻法或者快冻法,用质量损失率及相对动弹性模量来表示抗冻等级;抗氯离子渗透试验可用快速氯离子迁移系数法(RCM 法)或电通量法,依据 GB/T 50082—2024 标准,电通量≤1000 库仑(C)适用于海洋平台等严酷腐蚀环境下的工程应用,该指标对应混凝土抗氯离子渗透性能的最高等级。这些耐久性指标对在恶劣环境中使用的混凝土是非常重要的。

3.4 混凝土无损检测技术

混凝土无损检测是在不对混凝土进行任何损害的情况下,通过对混凝土有关物理性质的测量以推测混凝土强度、缺陷等方面的方法^[2]。用回弹法测定混凝土抗压强度时,在待检部位按一定规则划分出若干个测区,在每个测区内均匀分布 16 个测点,测取 16 个回弹值,精确到 1。回弹值是混凝土表面硬度,结合碳化深度校正后可以推算出混凝土强度。超声回弹综合法对各个测区分别进行回弹值以及声速测量,然后利用相应公式得出混凝土抗压强度换算值,因为超声波速度和混凝土弹性模量及密度有关,所以这种方法可以减小龄期和含水率带来的误差,从而提高准确性。钻芯法检测时,钻取直径大于 70mm 且大于骨料最大粒径两倍混凝土芯样,将芯样加工成高径比为 1:1 试件,按混凝土立方体抗压强度试验方法测定芯样抗压强度。钻芯法是一种半破损检验方法,结果直观可靠,一般用于对混凝土强度有怀疑时仲裁检验。

4 检测数据处理与质量控制

对检测数据进行合理处理是得到可靠检测结果的重要前提条件。检测原始数据必须真实、完整、清楚,不能任意改动,在每页记录上都必须有检测人、复核人签名以及检测日期,以便追溯。数据处理要符合误差分析要求,

去除由于试件成型不良或者试验失误造成异常数据,另外对一些明显超出一般情况数据也要回去查看其记录是否存在问题^[4]。对于三块试件一组,如果最大值或者最小值与中间值之差大于中间值的 15%,则取中间值作为该组试件强度代表值;如果两者都大于中间值的 15%,则该组试件作废,应重新制作试件后再次进行试验。检测结果应根据相应标准作出判断,水泥依据 GB 175 进行,混凝土强度按 GB/T 50107 采用统计法或者非统计法进行评价,统计法适用于连续生产和强度标准差较稳定的工程,而非统计法则用于零星生产或者试验次数较少场合。质量保证工作是整个试验过程中一个非常重要的环节,涉及参与试验人员资格证书,所使用仪器设备校准情况,试验环境,试验过程等各个方面。参加试验人员必须经过专门的学习并且取得相关证书才能上岗,熟悉掌握所采用标准和试验步骤。苏州市水泥产品质量监督抽查实施细则要求,抽样在受检企业成品仓库或其指定地点进行,从同一批次待销售产品中随机抽取具有出厂检验报告或其他方式标明合格的产品作为样品,样品量要满足检测与备用检测需要;检测设备要经常检查,压力试验机精度应在 $\pm 1\%$ 以下,温湿度计要定期检定,所有检测设备都必须有使用及保养记录;实验室养护条件为温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度大于等于 95%,试件养护龄期误差不超过 2h,养护用水池内的水要经常换水防止由于水质不同影响试件强度的发展。采取以上各种严格质量保证手段可以尽量减少偏差,从而使得检测结

果更准确、更具代表性以及可比性,对工程质量和评价起到很好的辅助作用。

5 结语

水泥、混凝土的检验是保证建筑施工质量必须的技术措施之一。本文对水泥物理力学性能、化学成分检验;混凝土的工作性、力学性能检验;耐久性的检验以及非破损检验等几个方面进行了阐述,在一些重要部分插入表格形式,便于比较检验的结果和评价标准的关系。科学技术不断发展,将来一定还会出现更多的新的检验方法用于水泥和混凝土的质量鉴定工作,从而进一步保障建筑结构的安全。检测人员一定要熟悉相关标准,认真细致地完成每一次检验工作,保证检验数据真实有效,为工程的质量把关提供参考意见。

[参考文献]

- [1]王熙.建筑工程中无机非金属材料水泥与混凝土的检测探讨[J].散装水泥,2025(5):226-228.
- [2]林俊帆.建筑工程水泥与混凝土施工材料检测分析[J].佛山陶瓷,2023,33(12):58-60.
- [3]高鑫.建筑工程中无机非金属材料水泥与混凝土的检测[J].砖瓦,2023(1):48-50.

作者简介:王彩云(1985.9—),毕业院校:对外经济贸易大学,所学专业:工商管理,当前就职单位:北京紫衡轩建筑工程检测有限公司,职务:鉴定事业部鉴定三室室主任,职称级别:初级。