

公路水运工程试验检测专业技术人员
职业资格考试用书

水运结构与地基

(2024 年版)

交通运输部安全与质量监督管理局
交通运输部职业资格中心 组织编写

人民交通出版社股份有限公司

北京

《公路水运工程试验检测专业技术人员职业资格
考试用书 水运结构与地基》(2024 年版)

主 编

徐满意 司炳君 关 磊

主 审

孟 静 徐静晗

交通基础设施建设质量安全工作事关交通运输行业高质量发展,事关人民群众生命财产安全,事关经济社会稳定发展,抓好质量安全工作功在当代、利在千秋。公路水运工程检验检测是交通运输基础设施建设的关键岗位,在质量把关、隐患排查和安全监测等环节发挥着重要作用。实施好公路水运工程检验检测专业技术人员职业资格制度,建设高素质、专业化的专业技术人员队伍,既是不断提升交通建设工程质量、实现交通运输安全发展的重要保证,也是在为加快建设交通强国、当好中国现代化的开路先锋提供质量安全人才支撑。

为方便考生备考,我们组织来自全国公路水运工程检验检测相关单位和部分高校的专家,依据《2024年度公路水运工程检验检测专业技术人员资格考试大纲》,对《公共基础》《道路工程》《桥梁隧道工程》《交通工程》《水运材料》和《水运结构与地基》六个科目的考试用书进行了修订。新版考试用书持续贯彻习近平总书记关于交通运输工作、人才工作的重要论述和指示批示精神,聚焦落实《交通强国建设纲要》《质量强国建设纲要》对新阶段公路水运工程建设质量安全提出的目标任务,突出加快建设交通强国及建设现代化高质量综合交通体系等要求,体现了交通建设的新标准、新工艺、新技术、新设备、新材料的发展对检验检测专业技术人员职业能力的要求,注重理论联系实际,针对性、实用性和指导性强,可以作为广大考生复习备考的参考用书。

在此一并向所有参与编写及修订工作的单位及专家表示感谢!

由于水平有限,疏漏之处在所难免,敬请批评指正。

编写组
2024年1月

第一篇 结构检测技术

第一章 基础知识	3
第一节 水运工程水工建筑物.....	3
第二节 结构和构件的结构性能.....	4
第三节 结构性能检验.....	5
第二章 水运工程混凝土结构实体检测	7
第一节 回弹法检测混凝土强度.....	8
第二节 超声-回弹综合法检测混凝土强度.....	13
第三节 钻芯法检测混凝土强度.....	16
第四节 混凝土强度的合格判定.....	18
第五节 超声波法检测混凝土缺陷.....	21
第六节 混凝土中钢筋检测.....	32
第三章 水运工程混凝土防腐蚀	36
第一节 水运工程混凝土附加防腐措施.....	36
第二节 水运工程混凝土附加防腐措施的检验与检测.....	41
第四章 结构与构件的静力试验	56
第一节 试验目的和方法.....	56
第二节 加载方法.....	56
第三节 测量方法.....	62
第四节 数据处理.....	64
第五章 结构动力测试	72
第一节 结构动力特性和反应.....	72
第二节 振动测量仪器.....	72
第三节 测量方法.....	75
第六章 水工建筑物原型观测与现场检测评估	80
第一节 外观检测.....	80

第二节	材料检测	81
第三节	承载力检测	86
第四节	变位观测	87
第五节	水工建筑物检测与评估	89
第六节	工程实例	90
第七章	海港工程钢结构验收检测及防腐技术	95
第一节	海港工程钢结构的几种主要连接方式及检测方法	95
第二节	海洋工程钢结构防腐蚀	100
参考文献	108

第二篇 基桩检测技术

第一章	桩的基本知识	113
第一节	桩的分类	113
第二节	桩的质量检测	115
第二章	桩轴向抗压静载荷试验	119
第一节	试验设备及仪器	119
第二节	试验方法及承载力确定	123
第三节	桩的分层摩阻力测试	137
第四节	桩轴向刚性系数测试	141
第五节	影响单桩竖向承载力的主要因素	141
第三章	桩轴向抗拔静载荷试验	148
第一节	桩抗拔时的土体破坏模式	148
第二节	试验设备及仪器	149
第三节	试验方法及单桩抗拔承载力确定	150
第四章	单桩水平静荷载试验	156
第一节	试验设备及量测内容	156
第二节	试验方法及成果整理	158
第三节	试桩实例	159
第五章	基桩高应变检测	167
第一节	应力波在桩身的传递	167
第二节	高应变检测仪器设备	170
第三节	现场检测及波形判别	173
第四节	CASE 法判定桩承载力	175
第五节	实测曲线拟合法判定桩承载力	180
第六节	桩身质量判别	186

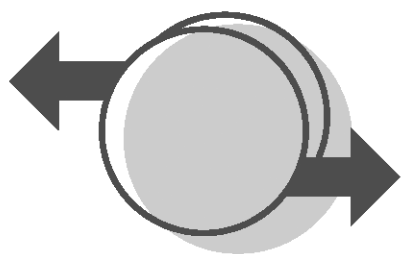
第七节 工程实例·····	190
第六章 试打桩与打桩监控·····	192
第一节 试打桩·····	192
第二节 打桩监控·····	193
第七章 基桩低应变检测法·····	196
第一节 低应变法的基本原理及适用范围·····	196
第二节 低应变检测步骤·····	200
第三节 桩身完整性判别·····	202
第四节 工程实例·····	204
第八章 声波透射法检测与分析·····	207
第一节 声波透射法测桩的基本原理·····	207
第二节 测试设备·····	209
第三节 现场检测方法·····	210
第四节 检测数据的处理与判断·····	212
第五节 工程实例·····	218
第九章 钻芯法检测桩身质量·····	226
第一节 钻芯检测目的及适用范围·····	226
第二节 钻芯设备及检测技术·····	227
第三节 检测结果分析与判定·····	230
第四节 工程实例·····	232
第十章 钻孔灌注桩成孔及地下连续墙成槽质量检测·····	233
第一节 检测仪器设备·····	233
第二节 超声波法检测·····	237
第三节 接触式仪器组合法检测·····	241
第十一章 基桩钢筋笼长度检测·····	246
第一节 磁测井法基本原理·····	246
第二节 检测技术方法·····	247
参考文献·····	251

第三篇 地基检测技术

第一章 地基基础知识·····	255
第一节 土的物理性质和工程分类·····	255
第二节 土中水的运动规律·····	264
第三节 地基的应力、沉降与承载力·····	266
第四节 土样和试样制备·····	284

第五节	软基处理	289
第六节	岩石	293
第二章	含水率及界限含水率试验	298
第一节	试验方法	298
第二节	试验成果的应用	305
第三章	密度和比重试验	308
第一节	密度试验	308
第二节	比重试验	312
第三节	相对密度试验	316
第四节	实际应用	318
第四章	颗粒分析试验	322
第一节	筛析法	323
第二节	密度计法	325
第三节	移液管法	330
第五章	击实试验	334
第一节	击实试验	334
第二节	击实土的工程性质	338
第六章	渗透、固结试验	340
第一节	渗透试验	340
第二节	固结试验	345
第七章	抗剪强度试验	352
第一节	直接剪切试验	352
第二节	无侧限抗压强度试验	357
第三节	三轴压缩试验	361
第八章	土的动力特性试验	373
第一节	概述	373
第二节	动三轴试验	378
第九章	岩石测试	388
第一节	岩石单轴抗压强度	388
第二节	岩石点荷载强度	390
第三节	岩石声速测试	393
第十章	触探试验	399
第一节	静力触探	399
第二节	动力触探	406
第十一章	平板载荷试验	413
第一节	基本原理及测试设备	413
第二节	测试方法	415

第三节	资料整理	417
第十二章	标准贯入试验	421
第一节	标准贯入试验的应用和原理	421
第二节	标准贯入试验设备和方法	422
第三节	地基参数估算	423
第十三章	十字板剪切试验	428
第一节	试验设备	428
第二节	试验要点	430
第三节	资料整理及理论计算	431
第十四章	土中应力测试	435
第一节	土压力测试	435
第二节	孔隙水压力测试	439
第三节	水位观测	443
第四节	真空度测试	449
第十五章	土体变形监测	454
第一节	概述	454
第二节	沉降观测	458
第三节	位移观测	469
第十六章	港口道路与堆场检测	478
第一节	铺面结构层厚度	478
第二节	压实度	479
第三节	平整度	485
第四节	土基回弹模量	487
第五节	弯沉	489
第六节	地基系数 K_{30}	491
第七节	变形模量 E_{v2}	495
参考文献		498
附录	常用符号	501



第一篇 结构检测技术

第一章

基础知识

第一节 水运工程水工建筑物

水运工程水工建筑物有港口、航道和修造船厂等建筑物,其中主要为港口水工建筑物。港口建筑物包含有码头、防波堤、护岸等,其中主要为码头。本书主要讨论水工建筑物结构的试验检测和工程质量检测。

码头是供船舶系靠停泊用的建筑物,在此进行货物装卸、旅客上下或其他专业性作业,是港口主要水工建筑物之一。

码头由主体结构和码头设备两部分组成,其结构形式主要有重力式、板桩式、高桩式等。码头的主体结构包括:上部结构、下部结构和基础。不同的主体结构由不同的部件和构件组成,可以采用各种不同预制构件。

重力式码头一般由墙身、胸墙、基础、墙后回填土及码头设备等组成,其中墙身、胸墙为主要结构部分,通常由混凝土或钢筋混凝土制成。重力式码头是靠结构自重(包括结构自身和相应的回填土等的重量)来抵抗外荷载引起的滑移和倾覆。

板桩码头主要由板桩墙、拉杆、锚碇结构、胸墙(或导梁和帽梁)及码头设备等组成,其中板桩可以采用钢筋混凝土板桩或钢管桩、组合型钢板桩,胸墙等为现浇钢筋混凝土,而锚碇结构为钢筋混凝土地下连续墙结构或锚碇桩。板桩码头是依靠板桩下端沉入地基的横向土抗力和上部的锚碇结构来保持其整体稳定性。

高桩码头主要由上部结构(桩台或承台)、桩基和岸坡(包括接岸结构)及码头设备等组成。其中,上部结构通常采用钢筋混凝土梁板结构,并可以采用较多的预制构件。高桩码头的特点是利用打入地基中的桩将作用在上部结构的荷载传到地基。

特种和混合式码头是指码头的主体由两种或两种以上的结构形式组成,主要有钢板桩格型码头、锚碇墙式码头和装配式排架梁板码头。

墩式码头由分离的基础墩(引桥墩和码头墩)和上部跨间结构组成,按基础墩的结构特点分为重力墩式码头和桩基墩式码头。

浮码头由趸船、趸船的锚系和支撑设施、引桥及护岸等组成。

在深水区建造码头,需要建造引堤或引桥作为码头与陆域联系通道。引桥结构主要由墩

和梁组成。

防波堤的主要作用是防御波浪的侵袭,保证船舶在港内安全地停泊和进行装卸作业;此外,防波堤还可以用于拦阻泥沙、减轻港内淤积,以及防止流冰侵入港内。

防波堤的结构形式有斜坡式、直立式和混合式等。

护岸的作用是保护海岸、河岸等不被侵蚀,以保护岸上的设备、建筑物等。在港口中,除系靠船的码头岸壁以及修造船的建筑物外,凡港口陆域与水域相接的部分均可称为护岸,海港城市的临海部分也有很多护岸。护岸可以用于保护新填筑地不受侵蚀,也可以保护原海岸、河岸等不被侵蚀。

护岸的断面形式有斜坡式和直立式。

在水工建筑物中,主要采用混凝土结构和钢结构,混凝土结构包括钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构。按照施工方法还可以将混凝土结构分为现浇结构和装配式结构。装配式结构中采用了预制构件,具有经济合理、高效高质的特点。

结构的作用是承受荷载。水工建筑物所受到的荷载作用有:

- (1)恒载,如建筑物自重、土压力、水压力和预加应力等;
- (2)活载,如堆货荷载、船舶荷载、起重运输机械荷载、自然荷载及施工荷载等;
- (3)偶然荷载,如地震作用等。

第二节 结构和构件的结构性能

国家标准《工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50153—2008)规定,各类工程结构(包括房屋建筑、铁路、公路、港口、水利水电等结构)应满足以下功能要求:

- (1)能承受在施工和使用期间可能出现的各种作用;
- (2)保持良好的使用性能;
- (3)具有足够的耐久性能;
- (4)当发生火灾时,在规定的时间内可保持足够的承载力;
- (5)当发生爆炸、撞击、人为错误等偶然事件时,结构能保持必需的整体稳固性,不出现与起因不相称的破坏后果,防止出现结构的连续倒塌。

国家标准《港口工程结构可靠性设计统一标准》(GB 50158—2010)规定,港口工程结构应满足下列功能要求:

- (1)在正常施工和正常使用时,能安全承受可能出现的各种作用;
- (2)在正常使用时具有良好的工作性能;
- (3)在正常维护下具有足够的耐久性能;
- (4)有特殊要求时,在发生设定的偶然事件下,主体结构仍能保持整体稳定。

结构在规定的设计使用年限内,在规定的条件下,完成上述功能的能力称为可靠性,而完成上述功能的概率称为可靠度。

结构构件的上述功能也可称为结构性能。由于结构材料性能是随机变量,结构和构件的结构性能也是随机变量,对结构性能进行检测和评价时,应采取概率统计方法,或考虑其统计特性。

结构或构件超过某一特定状态就不能满足上述功能要求,此特定状态即为对应于该功能

的极限状态。对应于结构或构件达到最大承载力或不适于继续承载的变形的状态,称为承载能力极限状态;对应于结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值的状态,称为正常使用极限状态。

《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2010)(2015年版)和《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)关于混凝土结构构件的结构性能有如下规定:

混凝土结构或构件在受到不超过对应于承载能力极限状态的荷载作用下,应具有足够的承载力,不应发生疲劳破坏,不应发生不适于继续承载的变形,不应发生局部破坏而引发连续倒塌;在受到不超过对应于正常使用极限状态的荷载作用下,其变形、裂缝宽度和应力等不应超过规定的限值,还应该符合耐久性的要求。

《钢结构设计规范》(GB 50017—2017)和《水运工程钢结构设计规范》(JTS 152—2012)关于钢结构构件的结构性能有如下规定:

钢结构在受到不超过对应于承载能力极限状态的荷载作用下,应具有足够的强度,不应产生疲劳破坏或不适于继续承载的过度变形,不应丧失稳定,不应转变为机动体系或发生倾覆,不应由于局部破坏而连续倒塌;在受到不超过对应于正常使用极限状态的荷载作用下,其变形不宜超过规定的容许值,不应产生影响正常使用的振动,不应产生影响正常使用或耐久性能的局部损坏。

所有结构或构件都应按照规范的规定确定安全等级,根据安全等级确定结构或构件的重要性系数。

第三节 结构性能检验

为保证结构和构件具有规定的可靠度,应该在设计阶段、施工阶段和使用阶段进行相应的质量控制。施工阶段,对结构材料和制品(包括预制构件)的质量控制,以及对施工的质量控制,是质量控制的重要手段。

通过试验和检测确定结构和构件的结构性能等,是进行工程质量控制,保证结构具有规范规定的可靠度的有效方法。

对于使用中的建筑物结构,可以通过试验检测获得其结构性能。

采用结构试验,如静力试验,可以得到结构和构件的承载能力和变形,及混凝土结构和构件的裂缝控制性能。采用动力测试,可以得到结构或构件的动力特性,及在某一动力作用下的动力反应。

通过结构试验和检测,可以直接得到结构和构件的结构性能。也可以采用间接方法,测得结构的材料性能等,通过计算或其他手段,间接地得到结构性能。

结构试验中,利用试验装置或者自然力模拟结构的受力状况,对结构构件施加荷载,采用各种测试手段测量结构构件在荷载作用下的反应(包括变形、应力、开裂、破坏等),通过对试验结果的计算分析,以确定结构构件的结构性能。

结构试验分为静力试验和动力试验。

结构试验和检测、结构的现场检测等,都应该按照或参照有关现行的国家标准、行业标准执行。混凝土结构构件的结构试验,可以参照国家标准《混凝土结构试验方法标准》(GB/T

50152—2012)和《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2015)的有关规定。

梁板类简支受弯预制构件应该按照国家标准《混凝土结构试验方法标准》(GB/T 50152—2012)、《混凝土结构工程施工质量验收规范》(GB 50204—2015)的有关规定执行,且符合下列规定:

(1)钢筋混凝土构件和允许出现裂缝的预应力混凝土构件应进行承载力、挠度和裂缝宽度检验;不允许出现裂缝的预应力混凝土构件进行承载力、挠度和抗裂检验。

(2)对大型构件及有可靠应用经验的构件,可只进行裂缝宽度、抗裂和挠度检验。

(3)对使用数量较少的构件,当能提供可靠依据时,可不进行结构性能检验。

(4)检验数量:同一类型预制构件不超过1000个为一批,每批随机抽取1个构件进行结构性能检验。

(5)按照GB/T 50152—2012第8.1.1条,批量生产的预制混凝土构件宜进行型式检验。

(6)按照GB/T 50152—2012第8.1.2条,批量生产的预制混凝土构件宜在批量生产之前进行首件检验;当生产工艺、设备、原材料等有较大调整变化时,也宜进行首件检验。

在实际工程中,需要对一批结构构件进行检验、评价和验收时,应该按照有关的国家标准或产品标准等的规定,确定检验批、从一批中抽样、对抽样试件进行检验,按检验结果对该批构件进行评价和验收。试件抽样应具有代表性和一定比例,检验结果评价应考虑相应的可靠度要求。

对一个特定结构构件的结构性能进行检验、评价和验收时,通常根据设计要求、标准图集,或有关的国家标准等进行试验,试验结果主要针对特定的试件,用于确定特定结构构件的结构性能与特定结构构件的验收。

通常在结构试验中,应加载至结构构件达到破坏。如果试验目的只需要确定试件是否满足某一极限状态下的要求,则可以加载至试件达到和满足某一极限状态要求为止,如果此时试件仍未破坏,也可终止加载。

如混凝土结构构件加载至满足正常使用极限状态的变形、裂缝宽度或抗裂要求的荷载时,已达到试验要求,即可终止加载;加载至满足承载能力极限状态的荷载时,已达到试验要求,即终止加载,尽管试件仍未达到破坏。

如钢结构构件加载至满足正常使用极限状态的变形、局部损坏要求的荷载时,已达到试验要求,即可终止加载;加载至满足承载能力极限状态的荷载时,已达到试验要求,即终止加载,尽管试件仍未达到破坏。

对某些结构构件进行验收时,如果该结构构件仍需继续使用,通常采用这种试验方式。

第二章

水运工程混凝土结构实体检测

由于受原材料及配合比、施工工艺、环境条件、施工人员技术水平等多种因素影响,工程中的混凝土结构质量常处于不稳定状态。现场坍落度试验和同条件立方体抗压强度试块不能充分反映实体结构混凝土的强度和成型质量;钢筋试验也仅仅反映钢筋材料的基本力学性能,实体混凝土结构中钢筋位置等质量要求尚需进一步检测予以确认。因此,为了能直接反映实体混凝土结构中混凝土的真实强度及缺陷、钢筋位置等质量指标,保证工程实体质量,人们越来越重视利用非破损检测方法对混凝土结构进行实体检测。

混凝土结构实体检测主要是检测结构混凝土的强度、钢筋的位置和保护层厚度、混凝土裂缝及内部缺陷等。这些检测都是在施工现场对混凝土结构进行检测,以便为准确评定混凝土的质量提供依据。

水运工程混凝土结构的实体检测可分为水运工程混凝土结构的实体验证性检测、工程质量实体检测和结构现状性能实体检测。

水运工程混凝土结构的实体验证性检测应按现行行业标准《水运工程质量检验标准》(JTS 257—2008)的有关规定执行。

当涉及结构安全的试块、试件以及有关材料检验数据不足时,当施工质量的抽检结果达不到设计要求或对施工质量有怀疑、有争议时,或当发生工程事故需要通过检测分析事故的原因及对结构可靠性的影响时,应进行水运工程混凝土结构的工程质量实体检测及结构现状性能实体检测。

在开展混凝土结构评估、鉴定(维修或改变使用条件改造前的可靠性鉴定;对工程质量有怀疑或争议,或混凝土结构达到设计使用年限要继续使用的鉴定;因自然、人为因素等造成影响的鉴定)以及相关标准规定的混凝土结构运行期间的评定时,应进行水运工程混凝土结构现状性能实体检测。

水运工程混凝土结构的实体检测应根据检测的目的和内容,结合现场实际情况,制定项目合理、方法适宜的检测方案。水运工程混凝土结构实体检测的数据和结论应真实、可靠、有效。

水运工程混凝土结构实体检测应采用抽样检验的方法,并应符合下列规定:

- (1) 验证性检测的项目应随机抽样,且样本应符合表 1-2-1 的规定。

主要混凝土结构的抽样样本数量表

表 1-2-1

检测项目	检测对象	样本容量
混凝土强度	桩、梁、板	1% ~ 2% 且不少于 5 件
	沉箱、扶壁、圆筒	5% ~ 10% 且不少于 5 件
	闸墙、坞墙、挡墙	5% ~ 10% 且不少于 5 段
保护层厚度	桩、梁、板	1% ~ 2% 且不少于 3 件
	沉箱、扶壁、圆筒	10% 且不少于 3 件
	闸墙、坞墙、挡浪墙	5% 且不少于 3 段
抗氯离子渗透性能	处于浪溅区和水位变动区的梁、板、沉箱、扶壁和挡浪墙	不大于 20000m ³ 的同类实体抽检一次,每次抽检钻芯样试件数量不少于 3 个
抗冻性能		同一配合比且同一年度施工实体抽检一次,每次抽检钻芯样试件数量不少于 9 个
面层厚度	道路	长度不大于 1000m 抽检一个测点,且不少于 3 个测点
	堆场	面积不大于 5000m ² 抽检一个测点,且不少于 3 个测点

(2) 按检测批检测的项目,在检测方法未明确规定抽样方法及样本容量情况下,应进行随机抽样,其样本容量不宜小于表 1-2-2 的规定,并同时符合表 1-2-1 的规定。

抽样检测的最小样本容量

表 1-2-2

检测批的容量	样本最小容量			检测批的容量	样本最小容量		
	A	B	C		A	B	C
≤15	3	3	5	501 ~ 1200	32	80	125
16 ~ 25	3	5	8	1201 ~ 3200	50	125	200
26 ~ 50	5	8	13	3201 ~ 10000	80	200	315
51 ~ 90	5	13	20	10001 ~ 35000	125	315	500
91 ~ 150	8	20	32	35001 ~ 150000	200	500	800
151 ~ 280	13	32	50	150001 ~ 500000	315	800	1250
281 ~ 500	20	50	80	> 500000	500	1250	2000

注:检测类别 A 适用于除混凝土强度、保护层厚度、抗氯离子渗透性能、抗冻性能、面层厚度外的水运工程混凝土结构实体验证性检测的项目;检测类别 B 适用于监控水运工程混凝土施工质量检测的项目;检测类别 C 适用于水运工程混凝土结构工程质量的实体检测及水运工程混凝土结构现状性能的实体检测。

(3) 单个样本或部分样本检测项目,可以在委托方指定检测对象或范围、部分构件由于自然或人为因素受损、混凝土构件即为单个构件以及检测批的检测结果不能给出评定结论时开展,但检测结论不得扩大到未检测的构件或范围。

第一节 回弹法检测混凝土强度

回弹法是目前现场检测混凝土强度最简便也最常用的一种方法,这种方法在我国的应用

已达 50 余年。目前,我国是对回弹法检测混凝土强度研究最深入的国家,国内对回弹法的应用作出具体规范的行业标准有《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》(JGJ/T 23—2011)、《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239—2015)。上述规范中对混凝土回弹仪、适用范围、操作规程、数据处理都作出了具体规定,但在一些细节和参数选用上还是有所区别的。建议读者在掌握《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239—2015)中 5.2 的同时还需详细了解其他规范,以作补充。

一、回弹法的基本原理

回弹法是用一个弹簧驱动的重锤,通过弹击杆弹击混凝土表面并测出重锤被弹回来的距离,以回弹值作为与强度相关的指标来推定混凝土强度的一种方法,属于表面硬度法的一种。

回弹法适用于普通混凝土抗压强度的检测。被测混凝土强度等级应在 C10 ~ C100 之间,且表层与内部质量应无明显差异,内部也不存在缺陷。

二、检测仪器

回弹法检测混凝土抗压强度需要的仪器设备包括回弹仪、压力机、率定回弹仪的钢砧,以及钢卷尺。

1. 回弹仪的构造和分类

测定回弹值的仪器,宜采用示值系统为指针直读式的混凝土回弹仪。回弹仪由弹击杆、弹击拉簧、指示系统、保护壳等 23 个部件组成。根据其冲击动能可分为标称能量 2.207J 和 4.5J 两种。标称能量 2.207J 适用混凝土强度等级范围为 C10 ~ C60;标称能量 4.5J 适用混凝土强度等级范围为 C50 ~ C100。

2. 回弹仪的技术要求

(1) 水平弹击时,弹击锤脱钩的瞬间,回弹仪的标准能量应符合要求。

(2) 弹击锤与弹击杆碰撞的瞬间,弹击拉簧应处于自由状态,此时弹击锤起跳点应相应于指针指示刻度尺上“0”处。

(3) 回弹仪使用时的环境温度应为 $(-4 \sim 40)^\circ\text{C}$ 。

(4) 每次工程检测前后,应进行回弹仪的率定。在洛氏硬度为 $60 \pm 2\text{HRC}$ 的钢砧上,标称能量 2.207J 混凝土回弹仪的率定值应为 $80 \pm 2\text{HRC}$,标称能量 4.5J 混凝土回弹仪的率定值应为 $88 \pm 2\text{HRC}$ 。率定宜在 $(5 \sim 35)^\circ\text{C}$ 的条件下进行。率定时,钢砧应稳固地平放在刚度大的物体上;回弹仪应垂直放于钢砧中,弹击杆端部球面与砧芯接触;弹击时,弹击杆应分四次旋转,每次旋转宜为 90° 。回弹值应取连续向下弹击三次的回弹平均值。

3. 回弹仪的维护

当出现下列情况之一时,应对回弹仪进行维护:

(1) 弹击次数超过 2000 次;

(2) 对检测值有怀疑;

(3) 在钢砧上率定值不合格。

4. 回弹仪的检定

回弹仪的检定周期宜为6个月。当出现下列情况之一时,应对回弹仪进行检定:

- (1) 新回弹仪启用前;
- (2) 检测数据异常,无法进行调整;
- (3) 经过维修或更换零件;
- (4) 遭受严重撞击或其他损害。

三、回弹检测技术

1. 一般规定

回弹法检测混凝土强度不得用于表层或内部质量有明显差异的混凝土结构或构件。测区应均匀分布,测区表面应清洁、干燥,不应有接缝、饰面层、粉刷层、浮浆、油垢、蜂窝和麻面等表面缺陷,应避免钢筋和铁质埋件。测区应标有清晰的编号,并宜在记录纸上绘制测区布置示意图和描述外观质量情况。

2. 回弹值的测量

回弹检测时技术要求如下:

- (1) 每个样本测区数不应少于5个,相邻两侧区的间距不宜大于2m,靠近构件端部或施工缝边缘的测区距离构件端部或施工缝边缘不宜大于0.5m且不宜小于0.2m。
- (2) 测区宜选在使回弹仪处于水平方向的混凝土浇筑侧面。当不能满足这一要求时,可使回弹仪处于非水平方向的混凝土浇筑侧面、表面或底面。
- (3) 每个测区宜选在样本的两个对称或相邻可测试表面上,也可选在一个可测试面上,均匀分布。
- (4) 测区的面积不宜大于 0.04m^2 ,并能容纳8个或16个测点,见图1-2-1。

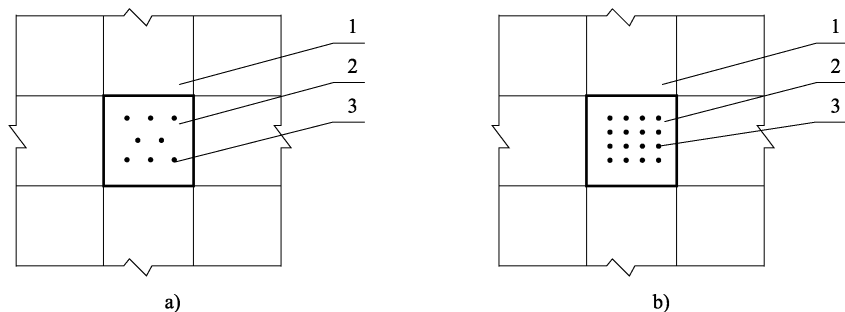


图1-2-1 测区和测点示意图

a)对测法;b)平测法

1-混凝土表面;2-测区;3-测点

(5) 测点宜在测区范围内均匀分布,相邻两测点的净距不宜小于20mm;测点距外露钢筋、预埋件的距离不宜小于30mm。

(6) 测点不应在气孔或外露石子上,同一测点只应弹击一次。

(7) 回弹仪的轴线应始终垂直于结构或构件的混凝土检测面,缓慢均匀施压,不宜用力过

猛或冲击,准确读数,快速复位。

(8)每一测点的回弹值读数应估读至1。

3. 碳化深度测定

碳化深度测定应符合下列规定:

(1)回弹值测量完毕后,应在有代表性的测区上测量碳化深度值,测点数不应少于3个,并分布在不同测区。

(2)碳化深度值测量,可采用电动冲击锤及钻芯机等工具在测区表面形成直径约15mm的孔洞,其深度应大于混凝土的碳化深度。孔洞中的粉末和碎屑应清理干净,并不得用水擦洗。

(3)应采用浓度为1%~2%的酚酞酒精溶液滴在孔洞内壁的边缘处,当已碳化与未碳化界线清晰时,再用深度测量工具测量已碳化与未碳化混凝土交界面处到混凝土表面的垂直距离。测量3次,每次读数应精确至0.25mm,取其平均值为一个测点的碳化深度值,并应精确至0.5mm。所有测点的碳化值的平均值为该样本每测区的碳化深度值,并应精确至0.5mm。当碳化深度值极差大于2.0mm时,应在每一测区测量碳化深度值。

4. 回弹值计算

回弹值计算应符合下列规定:

(1)测区回弹值应以回弹仪水平方向混凝土浇筑侧面的测试值为基准。

(2)计算测区回弹代表值时,应从该测区的16个回弹测点值中剔除3个最大值和3个最小值,用其余的10个回弹值按式(1-2-1)计算测区回弹代表值。

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{10} R_i}{10} \quad (1-2-1)$$

式中: R_m ——测区回弹代表值,精确至0.1;

R_i ——第*i*个测点的回弹值。

(3)当回弹仪在非水平方向检测混凝土浇筑侧面时,应按式(1-2-2)换算成水平方向检测混凝土浇筑侧面回弹代表值。

$$R_m = R_{ma} + R_{\alpha\alpha} \quad (1-2-2)$$

式中: R_m ——测区回弹代表值,精确至0.1;

R_{ma} ——非水平方向检测时测区回弹代表值,精确至0.1;

$R_{\alpha\alpha}$ ——非水平方向检测时回弹值修正值,按《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239—2015)附录E的规定采用。

(4)当回弹仪在水平方向检测混凝土浇筑表面和底面时,应按式(1-2-3)或式(1-2-4)换算成水平方向检测混凝土浇筑侧面回弹代表值。

$$R_m = R_m^l + R_a^l \quad (1-2-3)$$

$$R_m = R_m^b + R_a^b \quad (1-2-4)$$

式中: R_m ——测区回弹代表值,精确至0.1;

R_m^l ——水平方向检测混凝土浇筑表面时,测区回弹代表值,精确至0.1;

R_a^l ——混凝土浇筑表面回弹值的修正值,按《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239—2015)附录E的规定采用;

R_m^b ——水平方向检测混凝土浇筑底面时,测区回弹代表值,精确至0.1;

R_a^b ——混凝土浇筑底面回弹值的修正值,按《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239—2015)附录E的规定采用。

(5)当测试时回弹仪为非水平方向且测试面为非混凝土的浇筑侧面时,应先按式(1-2-2)对回弹值进行角度修正,然后用角度修正后的回弹值按式(1-2-3)或式(1-2-4)再进行修正。

5. 混凝土强度代表值的确定

混凝土强度代表值的确定,应按《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239—2015)附录C规定的方法预先建立专用或区域结构混凝土强度与回弹值之间的测强曲线,计算结构混凝土强度代表值;当无专用或区域的测强曲线时,可采用下列规定的测强曲线计算混凝土强度代表值。

(1)采用标称能量为2.207J混凝土回弹仪时,混凝土强度代表值宜按式(1-2-5)计算。

$$f_{cu,i}^c = 0.02497R_{m,i}^{2.016} \quad (1-2-5)$$

式中: $f_{cu,i}^c$ ——第*i*测区混凝土强度代表值(MPa),精确至0.1MPa;

$R_{m,i}$ ——第*i*测区回弹代表值,精确至0.1。

(2)采用标称能量为2.207J混凝土回弹仪检测,当混凝土的碳化深度大于或等于1.0mm时,应按式(1-2-6)进行混凝土强度代表值的碳化因素修正。

$$f_{cu,i}^c = \eta f_{cu,i}^c \quad (1-2-6)$$

式中: $f_{cu,i}^c$ ——经碳化深度修正后的混凝土强度代表值(MPa),精确至0.1MPa;

η ——碳化深度因素修正回弹法检测混凝土强度代表值的系数,按表1-2-3的规定采用。

η 值

表1-2-3

强度 (MPa)	碳化深度(mm)					
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	≥6.0
10.0~19.9	0.95	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
20.0~29.9	0.94	0.88	0.82	0.75	0.73	0.65
30.0~39.9	0.93	0.86	0.8	0.73	0.68	0.6
40.0~50.0	0.92	0.84	0.78	0.71	0.65	0.58

注:当碳化深度修约至0.5mm的奇数倍时,应采用内插法查表。

6. 混凝土强度推定值的确定

混凝土强度推定值的确定应符合下列规定:

(1)当检验批或单个样本的测区总数少于10个时,混凝土强度推定值按式(1-2-7)计算。

$$f_{cu,e} = f_{cu,min}^c \quad (1-2-7)$$

式中: $f_{cu,e}$ ——检验批或单个样本混凝土强度推定值(MPa),精确至0.1MPa;

$f_{cu,\min}^c$ ——混凝土强度代表值的最小值(MPa),精确至0.1MPa。

(2)当检验批或单个样本的测区总数不少于10个时,混凝土强度推定值应按下列公式计算:

$$f_{cu,m}^c = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cu,i}^c}{n} \quad (1-2-8)$$

$$s_{f_{cu}^c} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f_{cu,i}^c - f_{cu,m}^c)^2} \quad (1-2-9)$$

$$f_{cu,e} = f_{cu,m}^c - 1.645s_{f_{cu}^c} \quad (1-2-10)$$

式中: $f_{cu,m}^c$ ——混凝土强度代表值的平均值(MPa),精确至0.1MPa;

n ——测区数量(个);

$f_{cu,i}^c$ ——第*i*测区混凝土强度代表值(MPa),精确至0.1MPa;

$s_{f_{cu}^c}$ ——混凝土强度代表值的标准差(MPa),精确至0.01MPa,取值不小于 $\sigma_0 - 2.0$ (MPa);

$f_{cu,e}$ ——检验批或单个样本混凝土强度推定值(MPa),精确至0.1MPa。

(3)当测区混凝土强度代表值中出现小于10.0MPa时,混凝土强度推定值应小于10.0MPa。

第二节 超声-回弹综合法检测混凝土强度

一、基本原理

超声-回弹综合法是建立在超声波传播速度和回弹值与混凝土抗压强度之间相关关系的基础上,是以声速和回弹值综合反映混凝土抗压强度的一种非破损检测方法。和单一的超声波法或回弹法相比,超声-回弹综合法具有检测效率高、费用低廉、能同时反映混凝土内部和表层质量、能消除碳化影响等优点,是目前较为准确的混凝土强度无损检测方法。

超声-回弹综合法的适用条件与回弹法基本相同,不宜用于遭受冻害、化学腐蚀、火灾损伤、埋有块石的混凝土以及经超声波法检测判定混凝土均匀性不合格的结构或构件。

二、检测仪器

1. 回弹仪

与上一节中的回弹仪构造、技术要求、保养、检定方法均一致。

2. 超声波仪

超声-回弹综合法所使用的超声波仪、换能器应满足下列要求:

(1)仪器设备应采用低频超声仪。应具有显示稳定和清晰的示屏装置及手动游标测读装置,或经鉴定认可的自动检测、数据采集、记录存储、结果分析、显示打印于一体的智能化超声检测分析仪。

(2) 计时器的最小读数应为 $0.1\mu\text{s}$, 计时范围应为 $(0.5 \sim 5000)\mu\text{s}$; 声时调节范围应为 $(20 \sim 30)\mu\text{s}$, 2h 内数字变化不宜大于 $\pm 0.2\mu\text{s}$ 。

(3) 衰减器的最小分度应为 1dB; 接收放大器的频率范围为 $(10 \sim 500)\text{kHz}$, 总增益不应小于 100dB。

(4) 当温度为 $(-10 \sim +40)^\circ\text{C}$ 时, 相对湿度应小于或等于 90%, 电源电压应在 $200\text{V}(1 \pm 10\%)$ 的环境条件下能正常工作。

(5) 换能器频率范围应在 $(20 \sim 250)\text{kHz}$, 实测频率与标称频率相差不宜大于 $\pm 10\%$ 。

三、超声-回弹综合法检测技术

1. 一般规定

超声-回弹综合法应用超声波检测仪和回弹仪, 在所测样本的同一测区内, 测得混凝土声速代表值和回弹代表值, 推定混凝土强度。超声-回弹综合法不宜用于检测因冻害、化学腐蚀及火灾等造成混凝土表面损伤和经超声波法检测判定混凝土均匀性不合格的混凝土。

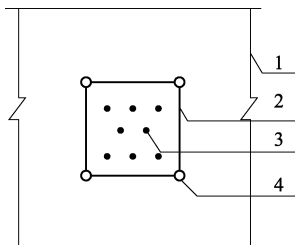


图 1-2-2 超声-回弹测点对测法布置示意图
1-混凝土侧表面; 2-测区; 3-回弹测点; 4-超声波测点

2. 测区、测点布置

(1) 混凝土结构被测表面应清洁、平整、无缝、无饰面层, 且测区应在检测均匀性合格的样本上选取。

(2) 每个样本不应少于 5 个测区, 测区宜布置在样本混凝土的浇筑侧面, 测区宜选在样本的两个对称或相邻可测试表面上, 均匀分布, 相邻测区间距不宜大于 2m, 对测时测区面积宜为 0.04m^2 , 每个测区包括 4 个超声波测点和 16 个回弹值测点, 见图 1-2-2。

3. 声速代表值、回弹代表值的测试计算

对每一测区, 应先进行回弹测试, 后进行超声测试。

(1) 测量测距(结构或构件厚度), 应精确至 1mm, 测量误差应不大于 $\pm 1\%$ 。

(2) 修整表面有缺陷的测点, 涂抹耦合剂, 使换能器与测点紧密接触。

(3) 根据测试对象和测距选择换能器的类型和频率。

(4) 应将“发射”和“接收”两个换能器的辐射面上涂抹耦合剂, 耦合在标准棒的两端, 将“发射”电压旋钮调至所需电压位置, 调节“增益”旋钮至合适位置, 读出声时值 T , 并按下式计算声时初读数 T_0 。

$$T_0 = T - T_s \quad (1-2-11)$$

式中: T_0 ——声时初读数(s);

T ——声时值(s);

T_s ——标准棒声时值(s)。

声时初读数产生的主要原因是声延迟、电延迟以及电声转换问题。

(5) 应将“发射”和“接收”两个换能器分别耦合在同一测距两端对应的测点上, 用力将耦合剂挤出。调节超声波检测仪上的功能旋钮至合适位置后固定。

(6) 每对测点测得一次声时值,在每一测区测试过程中,超声波检测仪的参数不得随意调整。

(7) 在测试过程中,当出现下列情况之一时,应再重复测 2 次:

- ① 相邻两测点声时值的相对误差大于 15% ;
- ② 首波振幅值小于 30dB ;
- ③ 接收信号的波形不规则。

(8) 当重复测量声时值与第一次测量值的相对误差不大于 15% 时,将三次测量平均值用于计算分析;若重复测量声时值与第一次测量值的相对误差大于 15% 时,将重复两次测量平均值用于计算分析。

(9) 混凝土声速值可按式(1-2-12)计算:

$$v_d = \frac{l}{t - t_0} \quad (1-2-12)$$

式中: v_d ——对测混凝土声速(km/s),精确至 0.01km/s;

l ——测距(mm),精确至 1mm;

t ——声时值(μs),精确至 0.1 μs ;

t_0 ——声时值初读数(μs),精确至 0.1 μs 。

(10) 单个样本混凝土声速的平均值、标准差和变异系数应按下列公式计算:

$$v_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (1-2-13)$$

$$s_v = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - v_m)^2} \quad (1-2-14)$$

$$\delta_\gamma = \frac{s_v}{v_m} \times 100\% \quad (1-2-15)$$

式中: v_m ——单个样本的声速平均值(km/s),精确至 0.01km/s;

n ——单个样本的测点数量(对);

v_i ——单个样本的第 i 对测点的声速($i = 1, 2, 3, \dots, n$)(km/s),精确至 0.01km/s;

s_v ——单个样本的声速标准偏差(km/s),精确至 0.01km/s;

δ_γ ——单个样本的声速变异系数(%),精确至 0.1%。

(11) 4 个超声波测点的声速平均值为该测区声速代表值。

(12) 测区回弹值按本章第一节有关规定测读求得混凝土强度代表值。

(13) 计算样本混凝土强度时,非同一测区内的回弹值和声速值不得混用。混凝土强度代表值的确定应符合下列规定。

采用标称能量为 2.207J 混凝土回弹仪时,混凝土强度代表值宜按式(1-2-16)计算。

$$f_{cu,i}^c = 0.008 v_{m,i}^{1.72} R_{m,i}^{1.57} \quad (1-2-16)$$

式中: $f_{cu,i}^c$ ——第 i 测区混凝土强度代表值(MPa),精确至 0.1MPa;

$v_{m,i}$ ——第 i 测区超声波声速代表值(km/s),精确至 0.01km/s;

$R_{m,i}$ ——第 i 测区回弹代表值,精确至 0.1。

4. 混凝土强度推定值

混凝土强度推定值的确定与本章第一节推定方法、公式、参数一致。

第三节 钻芯法检测混凝土强度

钻芯法系指在混凝土结构或构件上钻取混凝土芯样试件,直接测定混凝土强度的一种半破损现场检测方法。由于取芯法的测定值就是圆柱状芯样的抗压强度,它与立方体试件抗压强度之间,除了需进行必要的形状修正外,无须进行某种物理量与强度之间的换算,因此,普遍认为这是一种较为直观、可靠的方法。但是取芯法属于一种半破损检验方法,会对结构造成一定的破坏,如按照规范规定的方法,用取芯法评价混凝土强度,需要钻取的芯样较多,对结构有一定的影响,因此常被用来对回弹法或超声回弹综合法进行修正。

一、钻芯设备

钻芯法采用的主要设备有:钻芯机、芯样切割机以及必要的钢筋探测设备。对于钻芯设备有如下要求:

(1) 钻芯机应具有足够的刚度、操作灵活、固定和移动方便,并有水冷却系统。

(2) 钻取芯样宜采用金刚石或人造金刚石薄壁钻头。钻头胎体应无肉眼可见的裂缝、缺边、少角、倾斜及喇叭口变形。钻头胎体对刚体的同心度偏差不应大于0.3mm,钻头的径向跳动不应大于1.5mm。

(3) 锯切芯样宜选用双片自动式岩石切割机。切割机应具有冷却系统和牢固夹紧芯样的装置,配套使用的人造金刚石圆锯片有足够的刚度。

(4) 探测钢筋位置的仪器,应适用于现场操作,探测深度不应小于钢筋保护层厚度,探测位置的偏差不应大于 $\pm 5\text{mm}$ 。

二、芯样的钻取

芯样钻取前,应在选定位置用钢筋探测仪进行扫查,以避免钢筋位置。选取钻头直径不宜小于粗骨料最大粒径的2倍。

(1) 芯样宜在下列部位钻取:

①应在混凝土质量具有代表性的部位;

②应在受力较小的部位;

③便于钻芯机安放与操作的部位;

④应避免主筋、预埋件和管线的部位;

⑤当用于修正非破损检测结果时,应在非破损方法计算所得的混凝土推定值的平均值邻近区域钻取。

(2) 钻取芯样的操作步骤宜按照《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239—2015)附录F的规定进行,并应遵守国家有关安全生产和劳动保护的规定和钻芯现场安全生产的有关规定。

(3) 芯样钻取完毕后,应取出芯样,并应进行标记。芯样应用塑料制品包好或使用其他适当方法保护且运至试验室。

(4) 钻芯后留下的孔洞应及时进行修补。

三、芯样的加工

芯样宜用磨平机进行芯样端面加工,除应保证芯样的端面平整外,尚应保证芯样端面与芯样轴线垂直。芯样试件的加工应符合下列规定:

(1) 芯样试件的高度与直径之比宜为 1.00。亦可采用高径比 0.95 ~ 1.05 的试件。标准芯样试件宜为直径 100mm 的混凝土圆柱体试件。

(2) 抗压试件不得在蜂窝、麻面、孔洞、掉石和裂缝等缺陷部位制取。

(3) 芯样试件内不宜含有钢筋。不能满足要求时,芯样试件应满足下列要求:

① 标准样试件可含一根直径不大于 22mm 的钢筋或两根直径小于 10mm 的钢筋;

② 直径小于 100mm 的芯样试件最多可含一根直径小于 10mm 的钢筋;

③ 芯样内的钢筋与芯样试件的轴线基本垂直并离开端面 10mm 以上。

(4) 锯切后的芯样试件上下两个端面宜用磨平机磨平,端面处理完毕的芯样试件应放至 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的水中养护至试验龄期且 48h 以上。

(5) 芯样试件尺寸的测量应符合下列规定:

① 用游标卡尺测量芯样试件中部相互垂直的两个位置上的直径,取测量的算术平均值作为芯样试件的直径,精确至 0.5mm;

② 用钢板尺测量芯样试件轴线平行的两条母线的高度,取测量的算术平均值作为芯样试件的高度,精确至 1.0mm;

③ 用游标量角器测量芯样试件两个端面与母线的夹角,垂直度精确至 0.1° ;

④ 用钢板尺或角尺紧靠在芯样试件端面上,再用塞尺测量钢板尺或角尺与芯样件端面之间的缝隙确定平整度。

(6) 芯样试件尺寸偏差及外观质量应满足下列要求:

① 芯样试件的实际高径比范围为 0.95 ~ 1.05;

② 直径 100mm 芯样试件的直径允许偏差为 $\pm 5\text{mm}$;

③ 沿芯样试件高度与其相垂直断面的任一直径与平均直径相差不大于 2mm;

④ 芯样试件端面的不平整度在 100mm 长度内不大于 0.1mm;

⑤ 芯样试件端面与轴线的垂直度范围为 $89^{\circ} \sim 91^{\circ}$;

⑥ 芯样没有裂缝或其他较大缺陷。

(7) 按检测批进行检测时,在抽取的每个样本上至少应钻取一组芯样试件,每组芯样试件的直径和数量应按表 1-2-4 的规定制备。

单组芯样试件数量

表 1-2-4

芯样直径(mm)	100	75 ~ 65	60 ~ 50
数量(个)	1	3	5

四、抗压强度试验

抗压强度试验应符合现行行业标准《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239—

2015)的有关规定。

抗压强度测试值应按式(1-2-17)计算。

$$f_{\text{cor}} = \frac{4\alpha\eta F_c}{\pi d^2} \quad (1-2-17)$$

式中: f_{cor} ——芯样试件的抗压强度值(MPa),精确至0.1MPa;

α ——系数,当芯样为标准芯样时, $\alpha = 1$;当芯样直径小于100mm时, $\alpha = 1.12$;

F_c ——芯样试件的抗压试验所测得的最大压力(kN),精确至1kN;

d ——芯样直径(mm),精确至0.5mm;

η ——按表1-2-5选取。

η 值

表 1-2-5

高径比	0.95	1.00	1.05
η	0.97	1.00	1.02

检查破型后的芯样状态,当出现下列情况之一时,应剔除该芯样试件的试验结果:

- (1) 含有大于芯样直径1/2倍粒径的粗骨料;
- (2) 含有蜂窝和孔洞等缺陷;
- (3) 试件侧面出现斜向裂缝。

五、试验结果处理

单组芯样混凝土强度代表值应按下列方法确定:

(1) 芯样直径100mm的1个芯样,其测试值应为芯样混凝土强度代表值。

(2) 芯样直径(65~75)mm的3个芯样,其芯样混凝土强度代表值应按下列方法确定:

①以3个试件抗压强度测试值的算术平均值为芯样混凝土强度代表值;

②当3个试件抗压强度测试值中出现的最大值或最小值与中间值相差超过15%时,取中间值为芯样混凝土强度代表值;

③当3个试件抗压强度中出现的最大值和最小值与中间值相差均超过15%时,该组数据无效。

(3) 芯样直径(50~60)mm的5个芯样,其芯样混凝土强度代表值应按下列步骤确定:

①按《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239—2015)附录G对5个试件抗压强度测试值进行异常数据的判别和处理;

②当无异常值时,以5个试件抗压强度测试值的算术平均值为芯样混凝土强度代表值;

③当异常值不多于2个时,以剩余试件抗压强度测试值的算术平均值为芯样强度代表值。

当对单个样本检测时,在单个样本上钻取的芯样试件数量应至少是表1-2-4规定数量的3倍,并取得单组芯样强度代表值。

第四节 混凝土强度的合格判定

本章前三节介绍的三种无损或半破损检测方法,检测结果经计算最后给出的混凝土强度

推定值仅为单个构件上的一个测区或批量构件中的一个构件的强度推定值,利用单个构件上多个测区或批量构件中多个随机构件的强度推定值可以进行单个构件或整批构件的混凝土强度的合格判定。

一、回弹法或超声-回弹综合法检测混凝土强度的判定

回弹法或超声-回弹综合法检测混凝土强度的判定应符合下列规定:

(1)以混凝土强度推定值进行合格评定,当推定值大于混凝土设计强度等级标准值时,可判为合格;反之,初步判为不合格。

(2)按检测批检测时,当该批样本出现以下情况之一时,则该批样本应全部按单个样本检测和判定:

①当该批样本 $f_{cu,m}^c$ 小于 25MPa、 $s_{f_{cu}^c}$ 大于 4.5MPa 时;

②当该批样本 $f_{cu,m}^c$ 不小于 25MPa、 $s_{f_{cu}^c}$ 大于 5.5MPa 时。

(3)当检测批被初步判定为不合格时,应以钻芯法进行修正。

(4)用于修正的芯样试件的数量和钻芯位置应满足下列要求:

①芯样采用回弹法或超声-回弹综合法检测的样本测区中随机抽取,钻芯位置与回弹法或超声-回弹综合法检测的样本测区重合;

②芯样试件数量不少于表 1-2-4 规定数量的 6 倍;

③按第三节的有关规定测得单组芯样试件的强度代表值;

④按《水运工程混凝土结构实体检测技术规程》(JTS 239—2015)附录 G 对单组芯样试件强度代表值进行异常数据的判别和处理;

⑤单组芯样试件强度代表值的算术平均值作为钻芯法检测样本修正强度的平均值。

(5)总体修正量和修正的混凝土强度代表值可分别按式(1-2-18)和式(1-2-19)计算。

$$\Delta_{tot} = f_{cor,m} - f_{cu,m0}^c \quad (1-2-18)$$

$$f_{cu,il}^c = f_{cu,i0}^c + \Delta_{tot} \quad (1-2-19)$$

式中: Δ_{tot} ——总体修正量(MPa),精确至 0.1MPa;

$f_{cor,m}$ ——钻芯法测得样本修正强度的平均值(MPa),精确至 0.1MPa;

$f_{cu,m0}^c$ ——被修正方法检测得到的样本修正强度代表值的平均值(MPa),精确至 0.1MPa;

$f_{cu,il}^c$ ——修正后测区混凝土强度代表值(MPa),精确至 0.1MPa;

$f_{cu,i0}^c$ ——修正前测区混凝土强度代表值(MPa),精确至 0.1MPa。

(6)应采用修正后的强度代表值,按回弹法混凝土强度推定值确定方法计算,再按本部分第(1)、(2)条规定进行混凝土强度判定的复验。

(7)当复验结果仍判该检测批不合格时,应按下列规定进行再检验:

①由未被抽检样本组成新的检测批,随机抽取 30% 的样本进行检测,并按本部分第(1)、(2)条进行混凝土强度判定;

②当新的检测批又被判为不合格时,则检测剩余的全部样本,并按单个样本逐个进行强度判定。

(8)当单个样本被初步判定为不合格时,应按第三节的有关规定进行钻芯法复验检查。

二、钻芯法检测混凝土强度的判定

钻芯法检测混凝土强度的判定应符合下列规定:

(1)混凝土强度代表值个数不少于9个时,混凝土强度代表值的平均值和标准差应分别按式(1-2-20)和式(1-2-21)进行计算,能同时满足式(1-2-22)、式(1-2-23)要求时,可判为合格;反之,则判为不合格。

$$f'_{cu,m} = \frac{\sum_{i=1}^n f'_{cu,i}}{n} \quad (1-2-20)$$

$$S_{f'_{cu}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (f'_{cu,i} - f'_{cu,m})^2} \quad (1-2-21)$$

$$f'_{cu,m} - S_{f'_{cu}} \geq f_{cu,k} \quad (1-2-22)$$

$$f'_{cu,min} \geq f_{cu,k} - c\sigma_0 \quad (1-2-23)$$

式中: $f'_{cu,m}$ ——混凝土强度代表值的平均值(MPa),精确至0.1MPa;

$f'_{cu,i}$ ——第*i*个混凝土强度代表值(MPa),精确至0.1MPa;

$S_{f'_{cu}}$ ——混凝土强度代表值的标准差(MPa),精确至0.01MPa,取值不小于 $\sigma_0 - 2.0$ (MPa);

n ——混凝土强度代表值的数量(个);

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(MPa);

$f'_{cu,min}$ ——混凝土强度代表值中的最小值(MPa),精确至0.1MPa;

σ_0 ——混凝土抗压强度标准差的平均水平的值(MPa),按表1-2-6选取;

c ——系数,按表1-2-7选取。

混凝土抗压强度标准差的平均水平的值

表1-2-6

强度等级	< C20	C20 ~ C40	> C40
σ_0 (MPa)	3.5	4.5	5.5

系数 c

表1-2-7

强度代表值数量(个)	9	10 ~ 19	≥ 20
c	0.7	0.9	1.0

(2)当混凝土强度代表值为3~8个时,能同时满足式(1-2-24)、式(1-2-25)的要求,可判为合格;反之,则判为不合格。

$$f'_{cu,m} \geq f_{cu,k} + \sigma_0 \quad (1-2-24)$$

$$f'_{cu,min} \geq f_{cu,k} - 0.5\sigma_0 \quad (1-2-25)$$

式中: $f'_{cu,m}$ ——混凝土强度代表值的平均值(MPa),精确至0.1MPa;

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(MPa),精确至0.1MPa;

σ_0 ——混凝土抗压强度标准差的平均水平的值(MPa),按表1-2-6选取;

$f'_{cu,min}$ ——混凝土强度代表值中的最小值(MPa),精确至0.1MPa。