

中华人民共和国行业标准

# 水运工程结构试验检测技术规范

**JTS/T 233—2021**

主编单位:交通运输部天津水运工程科学研究所

批准部门:中华人民共和国交通运输部

施行日期:2021年4月1日

人民交通出版社股份有限公司

2021·北京

# 交通运输部关于发布 《水运工程结构试验检测技术规范》的公告

2021 年第 1 号

《水运工程结构试验检测技术规范》为水运工程建设推荐性行业标准,标准代码为 JTS/T 233—2021,自 2021 年 4 月 1 日起施行,由交通运输部水运局负责管理和解释,其文本可在交通运输部政府网站水路运输建设综合管理信息系统“水运工程行业标准”专栏 ([mwtis.mot.gov.cn/syportal/sybz](http://mwtis.mot.gov.cn/syportal/sybz)) 查询和下载。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部  
2021 年 1 月 5 日



## 制定说明

近年来,随着我国水运工程建设行业的快速发展,水运工程基础设施安全管理要求进一步提高,水运工程结构试验检测以其全面、准确、直观等特点,在提高水运工程基础设施安全管理水平,以及推动水运工程建设中新结构、新材料、新工艺的应用等方面发挥着重要作用。目前,水运工程结构试验检测技术尚未出台统一的水运行业标准,相关国家标准中的有关技术要求较为分散且不成体系,对相关技术在水运工程建设中的应用指导性不强。为统一水运工程结构试验检测技术要求,提高结构试验检测工作质量,促进结构试验检测技术发展,保障工程建设质量安全,交通运输部水运局组织有关单位,在深入调查研究和总结大量相关工程技术实践经验的基础上,结合国内外水运工程结构试验检测技术的现状和发展趋势,经广泛征求意见,反复修改完善,制定了《水运工程结构试验检测技术规范》。

本规范共分6章和6个附录,并附条文说明,主要包括结构动力测试、实验室结构试验、现场结构试验等技术内容。

本规范主编单位为交通运输部天津水运工程科学研究所,参编单位为中交四航工程研究院有限公司、天津大学、南京水利科学研究院、中交上海三航工程研究院有限公司、中交第一航务工程勘察设计院有限公司、天津水运工程勘察设计院。本规范编写人员分工如下:

- 1 总则:朱崇诚 张 强 郑锋勇 宣国祥 孟 静
  - 2 术语:张 强 朱崇诚 孙熙平 吴 锋
  - 3 基本规定:朱崇诚 郑锋勇 孙百顺 王元战 李 颖 宣国祥 周宝江  
吴 锋
  - 4 结构动力测试:王元战 孙熙平 吴 锋 郑锋勇 吕 黄 李越松 孟 静  
孙百顺 张 强
  - 5 实验室结构试验:吴 锋 郑锋勇 李 颖 吕 黄 王元战 孟祥玮 李 君  
李越松 孟 静
  - 6 现场结构试验:孙熙平 吕 黄 宣国祥 孟祥玮 周宝江 李越松 朱崇诚  
李 颖 郑锋勇 王笑难 李 君
- 附录A:郑锋勇 李越松 孟 静 孙百顺  
附录B:吴 锋 孙熙平 郑锋勇  
附录C:朱崇诚 张 强 周宝江  
附录D:朱崇诚 李越松 李 颖 李 君  
附录E:吕 黄 李 颖 孙熙平

附录 F:张 强

本规范于 2019 年 6 月 17 日通过部审,2021 年 1 月 5 日发布,自 2021 年 4 月 1 日起施行。

本规范由交通运输部水运局负责管理和解释。各单位在执行过程中发现的问题和意见,请及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街 11 号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规范管理组(地址:天津市滨海新区塘沽新港二号路 2618 号,交通运输部天津水运工程科学研究所,邮政编码:300456),以便修订时参考。

## 目次

1	总则 .....	(1)
2	术语 .....	(2)
3	基本规定 .....	(3)
3.1	一般规定 .....	(3)
3.2	试验检测程序 .....	(4)
3.3	试验检测方法要求 .....	(6)
4	结构动力测试 .....	(8)
4.1	一般规定 .....	(8)
4.2	测试内容 .....	(8)
4.3	仪器设备 .....	(9)
4.4	测试方法 .....	(9)
4.5	数据处理与成果提交 .....	(11)
5	实验室结构试验 .....	(13)
5.1	一般规定 .....	(13)
5.2	试验加载 .....	(14)
5.3	试验量测 .....	(17)
5.4	结构模型试验 .....	(18)
6	现场结构试验 .....	(20)
6.1	一般规定 .....	(20)
6.2	码头结构加载试验 .....	(22)
6.3	码头结构系靠泊试验 .....	(24)
6.4	防波堤及护岸试验 .....	(26)
6.5	船闸试验 .....	(27)
6.6	干船坞与船台滑道试验 .....	(28)
附录 A	混凝土构件挠度检验试验 .....	(30)
附录 B	结构混凝土既有应力检测试验 .....	(32)
附录 C	现场结构试验检测环境条件调查方法和要求 .....	(34)
附录 D	混凝土结构构件裂缝宽度检验试验 .....	(35)
附录 E	防风锚碇抗拔试验 .....	(36)
附录 F	本规范用词说明 .....	(38)
	引用标准名录 .....	(39)

附加说明	本规范主编单位、参编单位、主要起草人、主要审查人、总校人员 和管理组人员名单 .....	(40)
条文说明	.....	(43)

## 目 次

<b>1</b>	<b>总则</b>	(47)
<b>3</b>	<b>基本规定</b>	(48)
3.1	一般规定	(48)
3.2	试验检测程序	(48)
3.3	试验检测方法要求	(48)
<b>4</b>	<b>结构动力测试</b>	(49)
4.4	测试方法	(49)
4.5	数据处理与成果提交	(49)
<b>5</b>	<b>实验室结构试验</b>	(50)
5.1	一般规定	(50)
5.2	试验加载	(51)
5.3	试验量测	(51)
5.4	结构模型试验	(52)
<b>6</b>	<b>现场结构试验</b>	(53)
6.1	一般规定	(53)
6.2	码头结构加载试验	(53)
6.3	码头结构系靠泊试验	(53)
6.4	防波堤及护岸试验	(54)
6.5	船闸试验	(54)
6.6	干船坞与船台滑道试验	(54)
<b>附录 A</b>	<b>混凝土构件挠度检验试验</b>	(55)
<b>附录 B</b>	<b>结构混凝土既有应力检测试验</b>	(57)
<b>附录 D</b>	<b>混凝土结构构件裂缝宽度检验试验</b>	(58)
<b>附录 E</b>	<b>防风锚碇抗拔试验</b>	(60)

## 4 结构动力测试

本章关于结构动力测试的试验内容、仪器设备、测试方法、数据处理等条文规定主要依据码头动力测试的实践经验制定。

### 4.4 测试方法

**4.4.4.6** 传感器与被测物的连接刚度和传感器的质量本身构成了一个弹簧和质量二阶单自由度系统,安装谐振频率应和结构的振动频率错开,避免出现共振现象。常用传感器的下列六种安装方式,其安装谐振频率由高到低依次为:

- (1)传感器与被测结构采用螺栓直接连接(即刚性连接);
- (2)传感器与被测结构采用薄层胶、石蜡等直接粘贴;
- (3)用螺栓将传感器安装在垫座上;
- (4)传感器吸附在磁性垫座上;
- (5)传感器吸附在厚磁性垫座上,垫座与被测结构采用钉子连接固定,且垫座与被测结构间悬空;
- (6)传感器通过触针与被测结构接触。

**4.4.6.1** 奈奎斯特采样定理一般指采样定理,又称取样定理、抽样定理。它是美国电信工程师 H·奈奎斯特在 1928 年提出的,在数字信号处理领域中,采样定理是连续时间信号(通常称为“模拟信号”)和离散时间信号(通常称为“数字信号”)之间的基本桥梁。该定理说明采样频率与信号频谱之间的关系,是连续信号离散化的基本依据。它为采样率建立了一个足够的条件,该采样率允许离散采样序列从有限带宽的连续时间信号中捕获所有信息。

### 4.5 数据处理与成果提交

**4.5.2、4.5.3** 依据国家标准《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T 50784—2013)第 12.3.8 条规定编写。现代测振仪器已实现数字化和集成化,可以对数据进行快速、实时分析。

**4.5.2.4** 增益的一般含义就是放大倍数。在电子学上,通常为一个系统的信号输出与信号输入的比率。

## 5 实验室结构试验

### 5.1 一般规定

**5.1.1** 根据试验目的的不同,实验室试验基本分为探索性试验和验证性试验两种类型。

探索性试验是为研究结构在不同作用下的内力、变形等效应,分析其受力机理,确定影响结构抗力的因素和参数,探讨其变化规律,为建立结构理论、计算模型或经验公式提供科学依据的试验。验证性试验是针对已有的结构理论、分析模型、计算方法、构造措施等进行限定目标的试验,通过试验验证并修改、调整相应的计算方法、设计参数、构造措施等,使其更加科学、合理、完善。

探索性试验一般侧重于基本理论,侧重于本领域的基础研究;验证性试验一般针对已有理论模式或工程背景。两类试验由于目的不同,试验方式也存在一定差异。

**5.1.2** 试验方案是试验进行全过程的指导性文件,试验前根据试验目的制定详细的试验方案是为了指导试验顺利进行。本条列举了试验方案应包括的基本内容。

对预制构件产品的合格性检验,试件方案是样品的抽样检验方案。安全措施主要是针对试验人员和试验设备所采取的安全防护措施。

**5.1.4** 为保证试验的目的性和针对性,试验前的理论分析非常重要。对于较复杂的试验试件,可采用有限元分析等方法,计算试件的内力和变形,或进行受力全过程的分析,根据分析结果校核并指导试验方案的制定。

**5.1.6** 由于施工、养护、维护和材料自身性能变化的影响,实际工程中常出现材料性能实测值与原设计值不符的情况,特别是混凝土材料,其强度、弹性模量等性能参数会随时间持续变化。此外,构件截面尺寸、混凝土保护层厚度、钢筋实际截面面积等参数也会因施工误差或耐久性影响,与原设计值不符。由于混凝土结构试验是研究结构或构件的实际性能,故需要采用材料的实际性能参数进行计算和分析。

对于模型试件和模拟原型试件的某些不适合直接测试或需要破损才能测试的材料参数,应在浇筑试件的同时浇筑立方体试块,并以同条件养护,可通过测试试块的性能参数代替试件实测值。

**5.1.7** 当试验前未能测定材料性能或者对测得的数据有怀疑时,可在试验后从试件上受力较小且混凝土未开裂的区域钻取芯样,测定混凝土材料性能参数;从未屈服部位截取出钢筋试样,测定钢筋的材料性能参数。

**5.1.8** 试验报告是对试验过程的真实反映和试验结果的集中体现,应准确、清楚、全面地反映科研或工程背景、试验目的、试验方案、详尽的试验过程和现象描述、量测结果等。报告内容应实事求是,并对试验结果进行分析,得出试验结论。

## 5.2 试验加载

**5.2.2** 由于试件的材料强度、约束条件等存在一定的不确定性,试件的支座、加载区域、与加载设备的连接装置等在设计时需要留有一定的安全余量,避免因刚度不足或者在试件正常破坏前发生局部支撑破坏,导致试验无法完成或者发生危险。如果是重复利用的装置,还要考虑在反复受力及反复安装拆卸过程对其性能的影响。

**5.2.3** 本条是对试验支承装置的原则性要求。设置试件的支承装置时,需要使试件的受力状态符合试验方案的要求,避免因试验装置的刚度、承载力、稳定性不足而影响试验结果。同时,支承装置在试验时的受力变形不影响试件在加载过程的受力、变形。

**5.2.4** 本条是对简支梁、单向简支板等简支受弯试件支座的规定,试验中可能采用的其他形式的支座构造,需要满足本条的要求。当无法满足理想简支条件时,一般情况下水平移动受阻会在加载之初引起水平推力,在加载后期引起水平拉力,而转动受阻会引起阻止正常受力变形的约束弯矩。

**5.2.7** 为避免试验时盲目加载,需要通过事先计算的结果来指导试验的加载程序,控制各种临界状态,并与实测的试验结果进行相互对比分析。考虑模型材料性能与设计要求可能存在的偏差,方案编制阶段计算有关指标时,钢筋、混凝土的材料性能参数可采用设计值,到正式试验前,需要取实测值进行修正。

**5.2.10** 试验预加载的主要目的是检验试验装置及仪表、设备,并对其进行相应的调整。同时也对垫层等进行压实,消除试件与装置之间的空隙,使试件支垫平稳。

**5.2.11** 分级加载是按正常使用极限状态、承载能力极限状态的顺序按预定的步距逐级进行加载。接近开裂荷载计算值时,加密荷载步距以准确测得开裂荷载值;接近承载力试验荷载值时,需加密荷载步距以得到准确的承载力检验荷载实测值,并避免试件发生突然性的破坏。

**5.2.13** 本条规定与国家标准《混凝土结构试验方法标准》(GB/T 50152—2012)、《先张法预应力混凝土管桩》(GB 13476—2009)的规定一致。

## 5.3 试验量测

**5.3.2** 实验室试验条件较好且对量测的精度有较高要求,为准确掌握重点部位的内力和变形情况,需要布置较多的力值、位移、应变和裂缝测点。利用试件的对称性布置校核性量测点,能够保证测试数据的完整性和准确性,也能够防止因个别测点的传感器失灵而导致的数据缺失。

**5.3.3** 仪表精度的选用既要注意满足量测要求,也要避免盲目追求高精度。

对量测仪表的有效性要求,体现在仪表具备定期经检验校准的合格证,并处于计量有效期内。

预估量程过大,则测量误差偏大;预估量程过小,则试验过程中容易超出量程范围导致数据缺失或损坏仪表。因此,需要根据预估值选择合适的仪表量程。如果仪表在全量程范围内呈良好的线性,则预估量程也可以低于满量程的30%。

**5.3.4** 试件自重和加载设备重量产生的挠度值一般在开始试验量测时就已经产生,所以实测值未包含这部分变形,故分析试件总挠度时需要通过计算考虑试件在自重和加载设备重量作用下的挠度计算值。

**5.3.5.1** 由于电阻应变计对环境温度比较敏感,因此测量需要消除温度对量测结果的影响。通常对于电阻应变计测量可以采用桥路补偿法,也可以采用自补偿应变片等方法。

**5.3.5.2** 由于混凝土属于材质不均匀且强度不等的材料,采用大栅长应变计测量其表面较大范围内的平均应变,能够更好地反映混凝土表面应变情况。

**5.3.6** 对混凝土结构试验,尤其是抗裂性能检验,开裂判断是试验现象观测的重点。本条给出了判断试件混凝土开裂的3种方法。第1种直接观察法最简单,也很有效,但需要与直接观察配合;第2种应变测量判断法的成本较高,适用于对特定部位抗裂要求较高或难以直接观测开裂的特定部位,如对高腐蚀环境中的结构开裂的判断,也可用于结构监测;第3种挠度转折法适用于大跨度结构。

**5.3.8** 试验误差对试验结果的影响程度是不同的。如果试验误差对试验结果的精确度或准确性存在较明显的影响,需要进行试验结果的误差分析。通过误差分析,可以判定试验结果的准确性和影响试验精度的主要方面,便于改进试验方案,提高试验质量。根据误差的性质和产生的原因,分为系统误差、偶然误差和过失误差。前两种误差可根据误差分析采取针对性措施减少其影响;而过失误差由于无规律可循,需要避免其产生。

## 5.4 结构模型试验

**5.4.1** 模型的设计制作与试验是根据相似理论,用适当的比例尺和相似材料制成与原型几何相似的试验对象,在模型上施加相似力系,使模型受力后符合原型结构的实际工作状态,最后按照相似理论由模型试验结果推算实际结构的工作。为此,这类模型要求有比较严格的模拟条件,即要求做到几何相似,力学相似和材料相似。

由于严格的相似条件给模型设计和制作带来了一定困难,在结构试验中尚有另一类型的模型,它仅是原型结构缩小几何比例尺寸的试验模型,将该模型的试验结果与理论计算对比校核,用以研究结构的性能,验证设计假定与计算方法的正确性,并认为这些结果所证实的一般规律与计算理论可以推广到实际结构中去。对这类试验就不一定要满足严格的相似条件,如通过钢筋混凝土结构受弯构件的小梁试验可以同样说明钢筋混凝土结构正截面的设计计算理论。

**5.4.2** 参数较多时简单进行排列组合会导致试件数量增多,试验成本和工作量大幅增加。因此,采用正交设计等方法进行试件设计的优化,能降低试验成本和工作量。

**5.4.5** 钢筋与混凝土之间的粘结情况对结构非弹性阶段的荷载-变形性能以及裂缝的分布和发展有直接影响。但由于粘结力问题本身的复杂性,对模型结构的粘结性要求至今没有完善的结论。从已有的研究工作得知,使模型钢筋产生一定程度的锈蚀或用机械方法在模型钢筋表面压痕模拟原结构中的变形钢筋,将使模型结构的粘结力和裂缝情况比用光面钢筋更接近实际情况。

## 6 现场结构试验

### 6.1 一般规定

**6.1.5** 本条阐述了对资料收集分析、结构现状检测、试验过程结构安全验算和结构预分析的要求。结构预分析结果是制定加载方案和进行加载过程控制的重要依据。结构预分析中,对作用效应的数值分析通常采用仿真分析的方法,这样得到的分析结果有利于与试验结果进行对比,以指导试验进行。但结构预分析中未考虑有关分项系数,不能用于工程决策等用途。

### 6.2 码头结构加载试验

**6.2.1** 根据试验目的控制加载量,是为避免对结构造成不可恢复的永久性损伤或局部破坏。考虑合理简洁的卸载方式,是为了避免试验中发生意外安全事故。采用多种载荷组合的方式,是为了避免加载重物堆积过多而增加试验的工作量,并一定程度提高加载的安全性。

**6.2.5.1** 本条中关于间歇时间的要求与行业标准《水运工程地基基础试验检测技术规程》(JTS 237—2017)的规定一致。

**6.2.5.5** 所谓牢固的测试支架,是指具有足够的强度、刚度和稳定性,在波浪、水流等荷载作用和环境影响下不会因为自身的变形和变位影响测试精度。

**6.2.5.10** 根据行业标准《水运工程地基基础试验检测技术规程》(JTS 237—2017)的有关规定制定。目前,对多根基桩组成的结构,其结构中桩基承载力试验还没有系统的相关研究成果,实际操作中还是参照单桩试验的判定方法。

### 6.3 码头结构系靠泊试验

**6.3.5** 靠泊时段是指船舶开始靠泊到靠泊稳定的时段;停靠时段是指船舶靠泊稳定至船舶准备离泊时段;离泊时段是指船舶准备离泊至离泊结束时段。

船舶靠泊时极易出现对码头结构的撞击。船舶停靠系泊时,船舶受潮水涨落、大风、水流的影响,也易出现对码头结构的过大作用。船舶离泊时,由于并不是同时解缆,往往是带着头缆进行掉头离泊,此时的系缆力往往也较大。因此,在这三个时段都需要测试船舶对码头的作用。

**6.3.9.1** 挤靠力的大小与船舶系泊期间的排水量、系泊角度有关,也与船舶系泊时的系统方式、水流流向和流速、潮位涨落、风力和风向有关,因此需要测试相关参数。

采用测力传感器实测船舶挤靠力的方法比较难以实现,这方面的实例也未查找到,有

关资料介绍的都是通过测试橡胶护舷压缩变形并根据其力学性能曲线来反推挤靠力。

**6.3.9.2** 对于配有快速脱缆钩设施的码头,其系泊缆绳载荷监测系统具有系统力测量功能,可利用该系统进行系统力测试。该系统由以下几部分组成:安装在每个快速脱缆钩上的测力传感器;脱缆钩附近安装的传感器接线/放大器箱;现场总线局域网(或无线局域网);中央控制和管理系统,包括计算机硬件和专用监控管理软件;扩展信息显示/报警装置。

**6.3.9.4** 靠船速度的测试手段较多,在此对其测试方法不作规定。靠泊角度可通过测试船身直线段水平向任意两点距码头前沿的距离推算出。

**6.3.12** 码头结构倾斜变形检测的规定引用自行业标准《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTS 235—2016)中第6.4节的有关规定。

**6.3.14** 船舶力观测精度要求引用自行业标准《水运工程水工建筑物原型观测技术规范》(JTS 235—2016)中第7.7节的有关规定。

## 6.4 防波堤及护岸试验

**6.4.3** 由于原型试验无法控制波浪条件,因此,需要等待出现设计波浪条件的时机,这样才可能验证到防波堤与护岸的设计功能。

**6.4.5** 防波堤施工期安全越来越受到重视。原因是在防波堤结构没有完成之前,例如斜坡堤护面没有安放好时,堤心石是裸露的,对波浪的抵御能力很差。工程上有斜坡堤在建设过程中受波浪作用毁损的例子。防波堤及护岸结构有时会建设于软黏土地基之上,地基失稳是防波堤损坏的主要原因之一。因此,在进行防波堤与护岸结构试验检测时,一定要充分注意地基在上部结构和波浪等荷载作用下的变形和软化问题。

## 6.5 船闸试验

**6.5.4** 条文中的国家现行有关标准主要包括《建筑结构检测技术标准》(GB 50344)、《混凝土结构现场检测技术标准》(GB/T 50784)、《混凝土结构试验方法标准》(GB/T 50152)、《锚杆锚固质量无损检测技术规程》(JGJ/T 182)、《岩土锚杆(索)技术规程》(CECS 22)等。

**6.5.7.2** 消能工是指消除泄水建筑物或落差建筑物下泄急流的多余动能,防止或减轻水流对水工建筑物及其下游河渠等的冲刷破坏而修建的工程设施。本条文指的是闸室内部消能槛、消能梁等用于消耗水流能量的结构。

## 6.6 干船坞与船台滑道试验

**6.6.3.5** 锚杆试验在国家和行业标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)、《岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范》(GB 50086—2015)、《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330—2013)、《建筑基坑支护技术规程》(JGJ 120—2012)和《锚杆锚固质量无损检测技术规程》(JGJ/T 182—2009)中都有相关规定,可以参照执行。

## 附录 A 混凝土构件挠度检验试验

**A.0.1** 条文是根据行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)中第3.3.2条的规定提出。该条内容如下:

3.3.2 混凝土构件的挠度应不影响结构的使用功能和外观要求,其计算值不应超过表3.3.2规定的限值。

表 3.3.2 最大挠度限值 $[f]$

构件种类	轨道梁	一般梁	板
$[f]$	$l_0/800$	$l_0/600$	$l_0/300$

注:① $l_0$ ——计算跨度;

②短暂状况的正常使用极限状态对挠度有要求时,应根据具体情况确定;

③对悬臂构件的挠度限值,其计算跨度 $l_0$ 按实际悬臂长度的2倍取用。

**A.0.7** 条文中公式的计算原理参考行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)中第6.5.1条和第6.5.2条的规定,两条文详细规定如下:

6.5.1 钢筋混凝土和预应力混凝土受弯构件在正常使用极限状态下的挠度,可根据构件的刚度用结构力学方法计算。受弯构件的挠度应按准永久组合并考虑荷载长期作用的刚度 $B$ 进行计算,挠度计算值不应超过表3.3.2规定的限值。

6.5.2 矩形、T形、倒T形和I形截面受弯构件的长期刚度可按下列公式计算:

$$B_1 = \frac{B_s}{\theta} \quad (6.5.2-1)$$

$$\theta = 2 - 0.4 \frac{\rho'}{\rho} \quad (6.5.2-2)$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot h_0} \quad (6.5.2-3)$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot h_0} \quad (6.5.2-4)$$

式中  $B_1$ ——受弯构件的长期刚度( $N \cdot mm^2$ );

$B_s$ ——受弯构件的短期刚度( $N \cdot mm^2$ );

$\theta$ ——考虑作用的准永久组合对挠度增大的影响系数,预应力混凝土受弯构件取2.0;

$\rho$ ——纵向受拉钢筋配筋率;

$\rho'$ ——纵向受压钢筋配筋率;

- $A_s$ ——受拉区纵向普通钢筋的截面面积( $\text{mm}^2$ )；
- $A'_s$ ——受压区纵向普通钢筋的截面面积( $\text{mm}^2$ )；
- $b$ ——矩形截面的宽度或倒 T 形截面的腹板宽度(mm)；
- $h_0$ ——截面有效高度(mm)。

## 附录 B 结构混凝土既有应力检测试验

**B.0.1** 应力释放法是指利用机械加工进行切割或钻孔,使原来受力的部位变为自由状态,即应力被释放。通过测量应力释放前后的应变变化,经换算得到该部位的工作应力。应力释放法包括剥层法、钻孔法、盲孔法、环孔法及开槽法。

剥层法是采用专门的机具取出贴有应变片的混凝土保护层,通过测试其应力的释放得到测试点的应力。这种方法由于实际操作时影响因素较多,测试精度难以保证,故采用得较少。

钻孔法是通过测试小孔边应力的释放来得到结构应力,其原理来源于弹性力学,但其基本假定对于钢筋混凝土这种非均质材料结构是否适用尚需验证。

盲孔法是由钻孔法发展而来,盲孔的位置可以任意选定,在钢结构上发展比较成熟,但在混凝土结构中应用效果并不理想。

环孔法是在测试点周围钻出一定深度的孔,解除测试点周围的约束使之产生弹性恢复变形,当孔深达到一定深度时,即可使测点处的局部工作应力完全释放,从而得到结构应力。

开槽法是由环孔法演变而来,采用开方形槽或横槽的方法来替代切割环孔。

**B.0.8.1** 在以往的测试、试验过程中,发现导线的扰动会影响测试系统的电阻,从而影响测试精度。因此,需要采取措施避免导线的扰动对测试结果的影响。

**B.0.8.4** 在钻孔过程中,因为钻削过程中产生的热量会使钻头温度升高,如果对钻头不采取冷却措施,钻头将会很快被磨损。同时,如果不采用水冷却,孔周围混凝土的温度也会相当高。因此,钻孔过程中一般采用水冷却方式。为了避免冷却水对在同构件上的工作片和温度补偿片测试结果造成影响,提出了本款规定。

**B.0.9** 由于混凝土属于材质不均匀且强度不等的材料,采用较长的应变计或电阻应变片测量混凝土构件表面较大范围内的平均应变,能够更好地反映混凝土表面应变情况。

采取温度补偿措施是为消除温度对应变量测结果的影响。电阻应变计可以采用桥路补偿法,也可以采用自补偿应变片等方法。

**B.0.11** 钻孔过程中,为防止钻孔孔边周围有混凝土破损,影响应变片测量精度,孔径要略大于应变片长度,同时孔径不能太大而影响测试构件整体性。根据测试经验,每边 2cm 基本满足要求。

**B.0.14** 如果钻头钻进的速度过大,产生的振动会较大,并且温度上升较快。

**B.0.17** 确定钻孔或切割分级要考虑两个方面:一是为了较准确地测试得到结构应力,分级数不能太少;二是为了避免测试时间拖得过长,分级数又不能太多。

**B.0.18** 根据实测经验,当达到钻孔或切割方向深度的 70% ~ 80% 时,应力释放基本完成。

## 附录 D 混凝土结构构件裂缝宽度检验试验

本章的试验内容根据行业标准《水运工程混凝土结构设计规范》(JTS 151—2011)第3.3.3条~第3.3.4条的规定提出,两条文详细规定如下:

3.3.3 结构构件设计的裂缝控制等级应根据使用要求划分为3级,并应符合下列规定。

3.3.3.1 严格要求不出现裂缝的构件,裂缝控制等级应按一级,按标准组合进行计算时,构件受拉边缘混凝土不应产生拉应力。

3.3.3.2 一般要求不出现裂缝的构件,裂缝控制等级应按二级,按准永久组合进行计算时,构件受拉边缘混凝土不应产生拉应力;按标准组合计算时,构件受拉边缘混凝土允许产生拉应力,但拉应力应满足下式要求:

$$\sigma_t \leq \alpha_{ct} \gamma f_{tk} \quad (3.3.3)$$

式中  $\sigma_t$ ——构件受拉边缘混凝土拉应力;

$\alpha_{ct}$ ——混凝土拉应力限制系数;

$\gamma$ ——受拉区混凝土塑性影响系数;

$f_{tk}$ ——混凝土抗拉强度标准值。

3.3.3.3 允许出现裂缝的构件,裂缝控制等级应按三级,按准永久组合进行裂缝宽度计算,其最大宽度不应超过规定的限值。施工期有必要计算裂缝宽度时,裂缝宽度不宜超过规定的限值。

3.3.4 裂缝控制等级、混凝土拉应力限制系数和最大裂缝宽度限值,应根据结构的工作条件和钢筋种类按表3.3.4采用。

表 3.3.4 混凝土拉应力限制系数和最大裂缝宽度限值

构件类别	钢筋种类	淡水港			海水港				
		水上区	水位变动区	水下区	大气区	浪溅区	水位变动区	水下区	
钢筋混凝土结构	—	裂缝控制等级	三	三	三	三	三	三	三
		$[w_{max}]$ (mm)	0.25	0.25	0.40	0.20	0.20	0.25	0.30
预应力混凝土结构	冷拉 HRB400 级钢筋	裂缝控制等级	二	二	二	二	二	二	二
		$\alpha_{ct}$	0.5	0.5	0.8	0.5	0.3	0.5	0.8
	钢丝、钢绞线、 螺纹钢筋	裂缝控制等级	二	二	二	二	—	二	二
		$\alpha_{ct}$	0.3	0.3	0.5	0.3	0	0.3	0.5

注:受冻融作用的海水环境结构的水位变动区按浪溅区规定采用。

裂缝控制等级一级、二级、三级分别对应严格要求不出现裂缝的构件、一般要求不出

现裂缝的构件和允许出现裂缝的构件,其对应的应力状态如下:

一级——要求作用的标准组合下构件受拉边缘应力不出现拉应力(零应力或压应力);

二级——要求作用准永久组合下构件受拉边缘混凝土应力保持零应力或压应力,在作用效应的标准组合下允许出现拉应力,但拉应力不大于  $\alpha_{ct}\gamma f_{tk}$ ,这意味着要求构件处于有限拉应力状态;

三级——允许构件受拉边缘混凝土产生裂缝,构件处于开裂状态,按准永久组合进行裂缝宽度计算,其最大宽度不应超过规定的限值。

水运工程预应力混凝土构件,除满足一级条件的以外,都属于二级控制构件。

针对裂缝控制等级为一级、二级的构件进行抗裂检验试验,目前的方法都需要实测开裂荷载。试验后的结构构件将难以避免存在裂缝现象,从而导致其与裂缝控制等级要求不符,试验结构构件将不能继续使用,属于破坏性试验和科研试验的范畴。因此本章内容仅针对裂缝控制等级为三级的混凝土结构构件的裂缝宽度检验。裂缝控制等级为一级、二级的混凝土结构构件的抗裂检验需要根据本规范实验室试验的规定进行。

**D.0.6** 最大裂缝宽度检验限值,是在设计规范限值的基础上,考虑荷载长期作用效应的影响,折算成短期值而得到的。条文中表 D.0.6 所给出的最大裂缝宽度检验限值是参考国家标准《混凝土结构试验方法标准》(GB/T 50152—2012)第 9.3.3 条确定的,其中缝宽 0.20mm、0.30mm、0.40mm 所对应的检验限值为直接引用,缝宽 0.25mm 所对应的检验限值为内插获得。

## 附录 E 防风锚碇抗拔试验

**E.0.1** 该试验方法是采用接近于防风锚碇结构的实际工作条件,用于检验防风锚碇整体抗拔承载力,为工程验收提供依据。