

综合法检测 T 梁混凝土强度研究

刘利生¹, 韩美清², 王森鹤¹

(1. 铁道部 工程质量安全监督总站, 北京 100844; 2. 中国铁道科学研究院 节能环保劳卫研究所, 北京 100081)

摘要: 利用单一检测方法发现, 某铁路 T 梁混凝土强度存在问题。然而采用综合法对该运营铁路的 T 梁混凝土强度进行了验证检测, 结果表明该铁路的 A、B 两桥共 12 片梁片的混凝土强度均符合设计要求。通过对两种检测方法的原理和结果进行分析对比, 发现综合法测定的多个指标对重要结构的混凝土强度进行评定是非常必要的。综合法具有经济合理、测试误差小、精度高等优点, 是评估和处理结构混凝土质量的主要手段, 可在桥梁、基础等重要结构中推广应用, 能为相关单位正确决策提供科学依据, 在工程质量鉴定实践中具有重要的指导意义。

关键词: 综合法; 混凝土强度; 检测; T 梁

中图分类号: TV 431; TU 528 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)04-0192-04

Strength Test of T Shaped Concrete Beams Based on Comprehensive Method

LIU Li sheng¹, HAN Mei qing², WANG Sen he¹

(1. Ministry of Railways of Supervision Bureau of Engineering Quality and Safety, Beijing 100844, China;

2. Energy Saving & Environmental Protection & Occupational Saving and Health Research Institute, China Academy of Railway Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: The strengths of T-shaped concrete beams at a railway showed problems when tested by the single detecting method. However, the strengths of 12 T-shaped concrete beams of two bridges (A and B) at the railway met the design requirements tested by the comprehensive method. The principle and results of two detecting methods were compared, which suggested that several indexes of the comprehensive method are essential for the evaluation of concrete strength of important structures. The comprehensive method showed the advantages of being economical, lower testing error, and higher accuracy. It is an important approach to evaluate the quality of concrete structures such as bridges and foundations, which can provide scientific basis for decision making and has important significance in assessment of the quality of engineering and construction.

Key words: comprehensive method; concrete strength; testing; T-shaped beam

混凝土是由水泥、矿物掺合料、粗细骨料、水、外加剂等多种材料形成的多相复合材料, 各相随机交织在一起, 形成复杂的内部结构^[1]。综合法检测混凝土强度, 是采用两种或两种以上的检测方法, 尽量消除引起检测误差的不利因素, 通过获得多种物理参数来综合评定混凝土强度的方法。根据综合法测定的多个指标对重要结构的混凝土强度进行评定是非常必要的, 在工程质量鉴定实践中具有重要的指导意义。

1 工程概况

某客货共线铁路, 单线Ⅱ级, 位于北方沙漠地区, 年平均 8 级以上大风 44 d。相关桥梁按设计架设了某合格梁场生产的后张法预应力简支 32 m T 梁, 其中 A 桥架设 80 片, B 桥

架设 56 片。该铁路开通运营两年以后, 铁路公司委托甲检测单位采用回弹法分别测定了 A 桥 20 片梁、B 桥 14 片梁的混凝土强度, 结果发现两桥各有 6 片梁的混凝土强度推定值小于设计强度。为慎重起见, 铁路公司委托乙检测单位采用综合法进一步检测验证梁体混凝土强度, 对桥梁安全性进行科学评价, 为铁路公司的正确决策提供科学依据。本文拟对两种检测方法的原理和结果进行对比分析, 探讨两种方法的优劣性。

2 回弹法原位对比检测

针对甲检测单位采用回弹法确定的该铁路 A、B 两桥各 6 片问题梁片, 乙检测单位采用相同方法在甲检测单位选定

收稿日期: 2013-03-29 修回日期: 2013-04-11 网络出版时间: 2013-07-28
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20130728.1310.024.html>
基金项目: 铁道部科技研究开发计划课题资助(2011F001E)
作者简介: 刘利生(1972-), 男, 山西原平人, 高级工程师, 硕士, 主要从事铁路工程质量与安全方面的研究。E-mail: lishengliu168@sina.com
通讯作者: 韩美清(1971-), 女, 山西原平人, 副研究员, 博士, 主要从事铁路环境保护研究。E-mail: yuannmihan@126.com

的检测部位附近进行对比检测,以对其结果进行验证。

2.1 检测原理

回弹法是通过建立回弹值与混凝土表面硬度的相关关系,利用混凝土表面硬度间接推算出混凝土强度。回弹值仅反映表层 30 mm 之内的混凝土状态,无法反映混凝土内部的非匀质性、孔隙量和孔结构等^[2]。混凝土表面硬度受粗骨料种类和粒径、龄期、含水量、表面碳化层厚度、保护层厚度等多种因素影响,还受天气状况,检测方法,检测设备,检测位置、测试面处理、测试人员等测试条件的影响。

根据测强曲线计算混凝土强度,测强曲线的采用顺序为专用、地区、全国统一测强曲线^[3-4]。A、B 两桥所在地区未建立回弹法地区测强曲线,因条件受限,甲、乙单位均未通过试验建立专用测强曲线,故采用全国统一测强曲线计算混凝土强度。检测设备采用 ZBL-S210 数显回弹仪,使用环境温度为 -4℃~40℃。两单位对比回弹测区布置示意图见图 1。



图 1 甲、乙检测单位对比回弹测区布置

Fig. 1 The layout of comparative rebounding testing regions between two institutions

2.2 检测结果

甲单位分别于 2012 年 1 月 10 日-13 日(气温 -22℃~-6℃)、2 月 16 日(气温 -4℃~0℃)检测了 34 片梁,每片梁的测区数均为 10 个。结果显示,共有 27 个测区的混凝土强度换算值小于设计强度 55 MPa,各梁片的强度推定值取测区混凝土强度换算值的最小值^[4],计 12 片梁的混凝土强度推定值小于设计强度。乙单位于 2012 年 5 月 11 日-15 日(气温 8℃~21℃)在甲单位测区的临近部位做了相同的检测。结果显示,共有 3 个测区的混凝土强度换算值小于设计强度 55 MPa,各梁片的强度推定值取测区混凝土强度换算值的最小值^[4],计 2 片梁的混凝土强度推定值小于设计强度。甲乙两个检测单位对比回弹检测的混凝土强度值见表 1。

2.3 结果分析

(1) 回弹仪要求的使用环境温度为 -4℃~40℃,甲单位第一次检测时环境温度为 -22℃~-6℃,远远超过了环境温度要求,第二次检测温度 -4℃~0℃也在环境温度要求的低限。因环境温度较低,受冬季严寒冻害影响,表面混凝土易疏松、剥落,强度受到一定程度影响。

(2) 回弹法适用的混凝土龄期为 14~1 000 d,强度等级为 C10~C60。两单位进行检测时,T 梁梁片实际龄期为 1 300~1 750 d,超过了要求龄期,检测结果的准确性会受到影响。

(3) 全国统一测强曲线在 A、B 桥所在地区的适用性有待进一步深入研究。

表 1 甲、乙检测单位对比回弹检测的混凝土强度值

Table 1 The values of concrete strength with comparative rebounding testing by two institutions

梁号	甲检测单位			乙检测单位		
	测区混凝土强度换算值不合格的测区数	小于设计强度的梁片强度推定值 / MPa	测试环境温度 (°C)	测区混凝土强度换算值不合格的测区数	小于设计强度的梁片强度推定值 / MPa	测试环境温度 (°C)
B5 Z	1	54.4	-22~-6	0	> 60.0	
B15 Z	3	48.8		0	> 60.0	
B20 Z	2	52.4		0	> 60.0	
B20 Y	5	49.2	-4~0	0	> 60.0	
B23 Z	2	50.7		0	58.8	
B23 Y	1	54.6		1	54.1	8~21
A2 Z	1	53.0		0	> 60.0	
A9 Z	1	53.6		0	> 60.0	
A10 Z	1	54.2	-22~-6	0	> 60.0	
A10 Y	3	51.2		0	> 60.0	
A19 Z	6	46.9		2	53.7	
A20 Y	1	54.4		0	57.5	
合计	27			3		

3 超声回弹检测

乙单位采用超声回弹检测、钻芯取样修正的方法,在其他检测部位对甲单位认定的 12 片问题梁进行混凝土强度检测,同时辅以外观检查。

3.1 检测原理

超声回弹法是采用回弹法和超声波法联合测试混凝土强度的方法,用超声检测仪和回弹仪在同一测区分别测量混凝土超声声速值和回弹值,根据测强公式推算混凝土强度。超声波在混凝土中传播若遇到缺陷,会发生反射、折射、绕射和衰减等现象,声时、波形、能量和频谱等声学参数随之变化,由此可判断混凝土内部的密实度、弹性性能及结构状况等。超声回弹法可同时反映混凝土表面硬度、内部密实度和匀质性,扩大了适用范围,提高了测试精度,适用于预应力混凝土 T 梁的强度检测。

A、B 两桥所在地区未建立超声回弹法的地区测强曲线,因条件受限,乙单位未通过试验建立专用测强曲线,仍采用全国统一测强曲线^[9]计算混凝土强度换算值。依据 TB 10426-2010 第 6.4.3 条规定,从结构构件测区中钻取不少于 3 个混凝土芯样试件,计算修正系数 η,对全国统一测强换算公式、铁道部测强换算公式计算的强度换算值进行修正^[6]。

本次采用的全国统一测强换算公式 $f = 0.0162 \cdot V^{1.656} R^{1.410}$,适用范围为强度等级 C10~C70,混凝土龄期为 7~2 000 d,粗骨料为碎石,该强度检测不适用于混凝土硬化期间遭受冻害及结构遭受化学侵蚀、火灾、高温损伤的情况。本次采用的中铁大桥局集团有限公司、中国铁道科学研究院、中国中铁四局集团有限公司共同研究完成的铁道部测强换算公式 $f = 4.7445 \cdot V^{0.7837} R^{0.3225}$,适用范围为强度等级 C50~C80,粗骨料为碎石。f 为测区混凝土抗压强度换算值

(MPa), V 为修正后的测区声速代表值 (km/s), R 为修正后的测区回弹代表值。

3.2 检测过程

检测设备采用 ZBL-S210 数显回弹仪, ZBL-U 520 非金属超声检测仪, 瑞士 Profometer 5 钢筋扫描仪, HILTI DD-160E 钻石钻孔机, 钢尺等。首先进行现场外观检查, 发现梁体无明显外观缺陷。另经了解, 在建设和运营期间也未发现相关明显质量缺陷。测试前使用钢筋扫描仪探测出腹板, 选定测区钢筋、预埋管线等位置并做好标记, 便于检测时避开。

(1) 超声回弹。选择混凝土浇筑方向的腹板侧面进行水平方向测试, 求取对测声速, 对各平测声速进行修正, 修正测区回弹值和声速值后, 计算出各测区的回弹代表值和声速代表值。每个构件测区内弹击 16 次, 测点在测区内均匀布置, 不允许布置在气孔或外露石子上。超声测点布置在回弹测试的同一测区内, 每一测区内布置 3 个超声平测测点, 发射和接收换能器的连线与附近钢筋轴线成 $40^\circ \sim 50^\circ$, 超声测距选择 400 mm。梁体超声平测平面示意图见图 2。

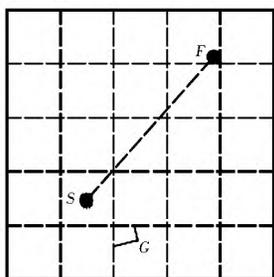


图 2 梁体超声平测平面示意图

Fig. 2 The layout of ultrasonic plane testing method

本工程 32 m T 梁每隔 4 m 位置处均有横隔板。现场检测在桥上通行列车间隙进行, A 桥桥高 18 m, 大里程跨下是沼泽地, 无法搭设作业平台; B 桥桥高 32 m, 高空风力较大。受现场地形、气候条件、梁体结构和铁路运营安全等因素的制约, 尽量将测区设置在混凝土强度有代表性的位置, A 桥测区布置在 1/4、3/8、1/2 和 5/8 处附近, 每处 4 个测区, 共 16 个测区; B 桥测区位置为小里程梁端、3/8、1/2、3/4 和大里程梁端位置附近, 每处 4 个测区, 共 20 个测区。测区和取芯位置布置见图 3 和图 4。

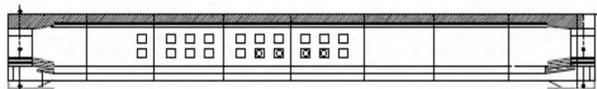


图 3 A 桥测区布置

Fig. 3 The layout of testing regions for bridge A

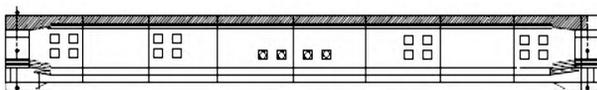


图 4 B 桥测区布置

Fig. 4 The layout of testing regions for bridge B

(2) 钻取芯样。依据 TB 10426 2010 第 4.1.3 条和 CECS 03:2007 第 3.2.4 条规定, 每片梁钻取的有效芯样不少于 3 个, 强度推定值取芯样混凝土强度换算值的最小值。该方法除检测混凝土强度外, 还用于超声回弹法的抗压强度

修正。在每片 T 梁腹板跨中左右两侧布置取芯点, 该取芯点位置为混凝土既不受压也不受拉的中性轴附近。

3.3 检测结果

采用不同方法处理回弹、声速和抗压数据, 混凝土强度推定值差异较大, 见表 2。从表 2 可以得出如下结果。

(1) 采用全国统一测强曲线处理回弹数据, 结果显示, B 桥 6 片梁共 3 片的强度推定值小于设计强度, 不满足设计要求; A 桥 6 片梁共 2 片的强度推定值小于设计强度。

(2) 采用全国统一测强换算公式处理超声回弹数据, 结果显示, 12 片梁的混凝土强度推定值均达不到设计强度, 其中小于 40 MPa 的有 6 片, 40~50 MPa 的有 6 片, 最小值仅为 32.7 MPa。

(3) 采用铁道部测强换算公式处理超声回弹数据, 结果显示, 12 片梁的混凝土强度推定值中有 11 片达不到设计强度要求。其中, 小于 50 MPa 的有 2 片, 最小值为 48.5 MPa; 50~55 MPa 的有 9 片; 仅有 1 片梁片合格。

(4) 乙单位对 12 片梁跨中腹板位置取芯 12 组, 其中 11 组的强度推定值大于 60 MPa, 单个芯样试件强度最大值为 96 MPa, 仅有对 B20-Y 梁片进行钻芯的强度推定值为 49.9 MPa, 小于设计强度 55 MPa, 但该梁 3 个有效芯样中其余 2 个芯样的强度分别为 73.5 MPa 和 85.5 MPa, 3 个芯样的强度平均值为 69.6 MPa, 最小值与平均值相对误差达 28.3%, 最大值与平均值相对误差达 22.8%, 表明该组芯样强度值离散性较大, 需进行钻芯法扩大检测, 以客观评价该梁混凝土强度。因此, 铁路公司委托丙检测单位钻取 B20-Y 梁片实体芯样 2 组, 进行扩大钻芯检测验证, 检测结果为 69.6 MPa、72.4 MPa、74.7 MPa、75.3 MPa、76.1 MPa、77.5 MPa, 强度推定值为 69.6 MPa, 判定该梁片混凝土强度符合设计要求。

表 2 不同方法测定的混凝土强度推定值

Table 2 The putative values of concrete strength determined by different methods MPa

计算方法	回弹法(腹板)	钻芯法	MPa			
			超声回弹法	超声回弹法	超声回弹法	超声回弹法
			抗压修正	抗压修正	抗压修正	抗压修正
			全国统一测强换算公式	铁道部测强换算公式		
B5Z	> 60.0	78.0	45.2	> 70.0	52.4	> 70.0
B15Z	53.2	62.9	43.3	61.0	53.1	69.7
B20Z	48.8	71.1	32.7	61.2	48.5	> 70.0
B20Y	53.2	49.9	38.0	56.7	51.2	67.8
B23Z	55.1	63.0	38.4	60.5	50.7	69.1
B23Y	56.1	67.9	39.5	62.8	50.9	> 70.0
A2Z	> 60.0	78.4	48.0	> 70.0	54.2	> 70.0
A9Z	> 60.0	64.4	47.9	59.6	54.2	67.0
A10Z	54.8	72.6	40.0	63.6	51.8	> 70.0
A10Y	57.5	96.0	47.8	> 70.0	55.2	> 70.0
A19Z	51.8	65.8	36.4	63.8	49.6	69.3
A20Y	55.4	75.0	39.9	> 70.0	50.6	> 70.0
不合格数	5	1	12	0	11	0

(5) 分别采用全国统一换算公式、铁道部测强换算公式计算混凝土强度值, 通过钻芯抗压强度对计算值进行修正。结果显示, 据铁道部测强换算公式修正后最小值为 67 MPa,

全国统一测强换算公式修正后最小值为 56.7 MPa, 超声回弹法强度推定值均满足设计要求。

3.4 结果分析

(1) 回弹数据采用全国统一测强曲线计算混凝土强度换算值, 误差较大。特别是混凝土龄期、环境温度等必要条件不满足时, 不宜采用单一方法评定混凝土强度, 应尽量制定专用测强曲线或地区测强曲线。

(2) 钻芯法是专用钻机从结构上钻取圆柱体混凝土芯样, 据其抗压强度评定混凝土质量的微破损现场检测方法, 适用于混凝土强度等级 C10 以上的结构, 是直观、可靠、准确的检测方法, 被较多国家采用。本工程桥梁混凝土在结构中处于复杂的应力和约束状态, 其强度不可能与取出芯样的强度完全一致。取芯会对结构造成一定程度的破坏, 芯样位置、数量受到一定的限制, 不能很好地反映混凝土的匀质性。因此, 本次钻芯检测强度只用作修正系数的计算, 仅凭芯样强度单一指标难以对结构混凝土质量做出准确评定。

(3) 影响混凝土表面硬度、内部密实度和匀质性的因素主要有水泥品种、粗骨料品种及粒径、细骨料用量、外加剂类型、混凝土龄期、碳化、测距、测试面等。经多家研究机构采集大量数据计算、统计分析后, 对上述影响因素进行了修正, 得出了超声回弹法的全国统一测强换算经验公式和铁道部统一测强换算经验公式, 具有较高的可靠性和适用性。现场混凝土的原材料、配合比、施工条件等不可能与基准曲线制定条件完全一致, 应用经验公式前必须进行适用性验证。

(4) 利用钻芯法对超声回弹法强度换算值进行修正, 综合了回弹、超声回弹、钻芯法的优点, 评定结论的可信度较单一的回弹法、钻芯法、超声回弹法更高。

4 结论与建议

(1) 混凝土强度是受多因素综合影响的指标, 其检测评定必须充分考虑不同检测方法的适用性和可靠性, 以及结构物混凝土的材料组成、结构类型和状态、结构环境条件、测试条件等各种因素。采用综合法评定重要结构混凝土的强度是非常必要的。

(2) 回弹法、超声回弹法简单易行、便于操作, 适用于检测工作量较大或构件不宜大量钻芯的情况, 缺点是适用性受限大、计算值误差较大。若结构物所在地无专用测强曲线和地区测强曲线, 采用全国统一测强曲线时须经必要的验证。

(3) 当构件的材料、龄期与测强曲线规定的条件有较大差异时, 应采用同条件立方体试件, 或根据构件测区中钻取的混凝土芯样试件的抗压强度进行修正。

(4) 对已经开通运营的桥梁等重要结构进行混凝土强度检测时, 宜采用回弹、超声、钻芯等三位一体的综合法检测和评定。

参考文献(References):

- [1] 欧阳辉. 超声-回弹综合法测强综述[J]. 桥梁建设, 1999, (4): 77-80. (OUYANG Hui. A Summarized Account of Strength Testing with Combined Ultrasonic and Rebounding Method [J]. Bridge Construction, 1999, (4): 77-80. (in Chinese))
 - [2] 张竞男, 王浩, 乔建东. 超声-回弹-钻芯综合法测强初探[J]. 材料科学与工程学报, 2003, 21(6): 886-889. (ZHANG Jingnan, WANG Hao, QIAO Jiandong. Preliminary Investigation on Strength Testing Method with Combined Ultrasonic rebound and Core drilling Technique [J]. Journal of Materials Science & Engineering, 2003, 21(6): 886-889. (in Chinese))
 - [3] JGJ/T 23-2011, 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程[S]. (JGJ/T 23-2011, Technical Specification for Inspecting of Concrete Compressive Strength by Rebound method [S]. (in Chinese))
 - [4] TB 10426-2010, 铁路工程结构混凝土强度检测规程[S]. (TB 10426-2010, Inspection Specification for Structure Concrete Strength of Railway Engineering [S]. (in Chinese))
 - [5] CECS 02: 2005, 超声回弹综合法检测混凝土强度技术规程[S]. (CECS 02: 2005, Technical Specification for Detecting Strength of Concrete by Ultrasonic rebound Combined Method [S]. (in Chinese))
 - [6] CECS 03: 2007, 钻芯法检测混凝土强度技术规程[S]. (CECS 03: 2007, Technical Specification for Testing Concrete Strength with Drilled Core [S]. (in Chinese))
-
- (上接第 127 页)
- [12] 卢汉清, 蒋敏. 宁波慈城区域未计水量的监控与分析[J]. 城镇供水, 2010, (2). (LU Hanqing, JIANG Min. The Supervisory and Analysis on Unaccounted Water in Cicheng District of Ningbo City [J]. Urban Water Supply, 2010, (2). (in Chinese))
 - [13] 凌文翠, 张涛, 强志民. 北京市二环内供水管网 DMA 分区方法及安全性分析[J]. 中国给水排水, 2010, (10): 19-23. (LING Wen cui, ZHANG Tao, QIANG Zhi min. Methodology of DMA Plan and Analysis on Water Security of Second Ring road Water Supply Pipes in Beijing [J]. Chinese Water and Waster Water Engineering, 2010, (10): 19-23. (in Chinese))
 - [14] 徐强, 陈求稳, 刘锐平. 基于管网水力模型的独立计量分区优化[J]. 给水排水, 2008, (3). (XU Qiang, CHEN Qiurwen, LIU Rui ping. Optimisation of DMA Plan and Implementation Based on Water Hydraulic Model [J]. Chinese Water and Waster Water Engineering, 2008, (3). (in Chinese))
 - [15] 王松桂. 概率论与数理统计[M]. 北京: 科学出版社, 2011. (WANG Songgui. Probability Theory and Statistical Analysis [M]. Beijing: Science Publication House, 2011. (in Chinese))