

# 上海地区 C50 混凝土回弹法试验研究分析

李德存 史志想 周子杰

上海市建筑科学研究院有限公司

**摘 要:** 为了了解不同技术标准下,采用回弹法(表面硬度法)检测混凝土强度在实际工程应用中的差异。通过对上海地区某在建工程设计 C50 结构混凝土进行回弹试验,然后分别采用无损检测技术标准文献的测强曲线进行强度换算。试验研究结果表明:① 文献[1-4]各测区回弹换算强度值均大于 C50 设计强度;② 行标文献[2]强度换算值 > 地标文献[1]强度换算值 ≈ 地标文献[3]强度换算值 > 行标文献[4]强度换算值;③ 地标文献[1]强度换算值分布较均匀,数据离散性较小。

**关键词:** C50 混凝土;回弹法;混凝土强度

混凝土强度是影响工程质量的最重要因素之一。目前检测混凝土强度的方法有回弹法、超声回弹综合法、钻芯法等,其中最广泛使用的无损检测方法是回弹法。本次对上海地区某在建工程设计 C50 结构混凝土进行回弹试验,并采用 C50 混凝土所能适用的两本行业标准和两本上海本地标准分别进行强度换算。此次试验共选取 6 个构件,共 60 个测区,主要比较上海地区设计 C50 混凝土回弹法检测强度的差异性,以便在实际工程中获取较为准确的数据效果,同时为类似工程提供参考借鉴<sup>[5]</sup>。

## 1 试验方法与方案

### 1.1 试验方法

目前对本地区回弹法检测 C50 混凝土,所能选择采用的规范规程较多(既有国标又有行标、地标,既有高强回弹检测方法又有普通回弹检测方法),且每次选择依据相对不够充分,虽然回弹法检测混凝土强度方法相对较简单,但在本地区哪本规范或标准更适合回弹法检测 C50 混凝土,目前尚未见形成相对较统一的意见。

### 1.2 试验方案

回弹法检测混凝土强度,是利用混凝土的抗压强度与其表面硬度之间存在的相关关系,回弹仪通

过弹簧驱动弹击锤,经过弹击杆弹击在混凝土表面上,其回弹距离(即通过回弹仪读得回弹值)与混凝土表面硬度成一定的比例关系,因此以回弹值反映混凝土表面硬度,根据表面硬度则可推求混凝土的抗压强度的一种方法。由于测量在混凝土表面进行,所以应属于一种表面硬度法,是基于混凝土表面硬度和强度之间存在相关性而建立的一种检测方法。该方法使用方便、检测效率高、成本低,同时计算方法便捷,不会造成被检结构的损伤。但该方法对结构或构件内部存在缺陷或表面与内部质量有明显差异时不适用<sup>[1-7]</sup>。

目前回弹法检测上海地区设计 C50 混凝土强度的常用规程或标准主要有四种。各标准或规程检测使用范围详见表 1。由于各规程或标准中关于“混凝土强度—回弹值”的相关测强曲线不同,以及所采用的设备的不同,因此混凝土强度检测推定结果也必然出现差异。

试验比对方法:① 首先采用标称动能 4.5J 型号为 HT450-D 高强回弹仪对被测构件混凝土表面进行回弹检测;② 然后采用标称动能 2.207J 型号为 HT225-B 中型回弹仪对同一被测构件混凝土表面进行回弹检测;③ 同时确保被检构件混凝土材质均匀性较好,具有较强的基础可比性。对 C50 混凝土采用高强回弹仪检测时,分别采用文献[1]和文献[2]的测强曲线进行混凝土强度换算;当采用中型回

\* 基金项目:上海市科学技术委员会科研计划项目(18DZ12012 00),上海市青年科技英才扬帆计划资助 20YF1441800)

弹仪检测时,分别采用文献[3]和文献[4]的测强曲线进行混凝土强度换算。

此外,本次所选择的混凝土构件检测环境一致(包括试验环境、设备率定环境),混凝土龄期一致,且温湿度均在允许范围内,检测设备亦在校准有效期内。

## 2 数据统计分析

### 2.1 试验数据图表

对选取的设计 C50 混凝土各构件,本次分别采用高强回弹仪、中型回弹仪进行回弹法检测。各测

表 1 回弹法检测 C50 混凝土强度范围

规程或标准	检测适用范围		使用设备	
	强度等级	龄期/d	回弹仪	标称动能/J
文献[1]	C50~C90	14~600	高强回弹仪	4.5 或 5.5
文献[2]	C50~C100	≤ 900	高强回弹仪	4.5 或 5.5
文献[3]	10~70 MPa	14~1 500	中型回弹仪	2.207
文献[4]	10~60 MPa	14~1 000	中型回弹仪	2.207

区强度换算值,拟分别采用文献[2]和文献[4]行标的测强曲线、文献[1]和文献[3]地标的测强曲线进行强度换算。

本次回弹试验详细检测结果详见表 2 和图 1。

表 2 设计 C50 混凝土回弹检测部分数据及结果

构件编号	设计值	测区号	高强回弹仪测区强度换算值				中型回弹仪测区强度换算值			
			回弹代表值	文献[1]/MPa	文献[2]/MPa	文献[2]/文献[1]	回弹代表值	文献[3]/MPa	文献[4]/MPa	文献[3]/文献[4]
构件 1	C50	1	66.1	70.9	76.3	1.08	48.4	>70	>60	
		5	67.3	72.3	78.4	1.08	49.2	>70	>60	
		7	64.1	68.7	72.7	1.06	47.1	68.6	>60	
		9	65.2	69.9	74.7	1.07	49.0	>70	>60	
构件 2	C50	11	66.2	71.0	76.4	1.08	48.7	>70	>60	
		13	66.6	71.5	77.2	1.08	48.1	>70	>60	
		17	65.8	70.6	75.7	1.07	46.8	67.5	60.0	1.13
		19	66.1	70.9	76.3	1.08	48.6	>70	>60	
构件 3	C50	21	65.4	70.1	75.0	1.07	46.9	67.8	>60	
		25	67.0	71.9	77.9	1.08	48.6	>70	>60	
		27	66.0	70.8	76.1	1.07	49.2	>70	>60	
		29	65.9	70.7	75.9	1.07	48.4	>70	>60	
构件 4	C50	31	65.7	70.5	75.5	1.07	49.6	>70	>60	
		33	65.7	70.5	75.5	1.07	46.4	66.1	59.0	1.12
		37	64.9	69.6	74.1	1.07	48.9	>70	>60	
		40	65.1	69.8	74.5	1.07	47.9	>70	>60	
构件 5	C50	41	62.7	67.1	70.3	1.05	46.8	67.5	60.0	1.13
		45	63.9	68.4	72.4	1.06	45.5	63.0	56.8	1.11
		47	66.2	71.0	76.4	1.08	46.4	66.1	59.0	1.12
		49	65.2	69.9	74.7	1.07	46.4	66.1	59.0	1.12
构件 6	C50	51	66.9	71.8	77.7	1.08	48.3	>70	>60	
		53	64.2	68.8	72.9	1.06	46.9	67.8	>60	
		57	65.6	70.4	75.4	1.07	46.9	67.8	>60	
		60	64.6	69.2	73.6	1.06	47.2	68.9	>60	

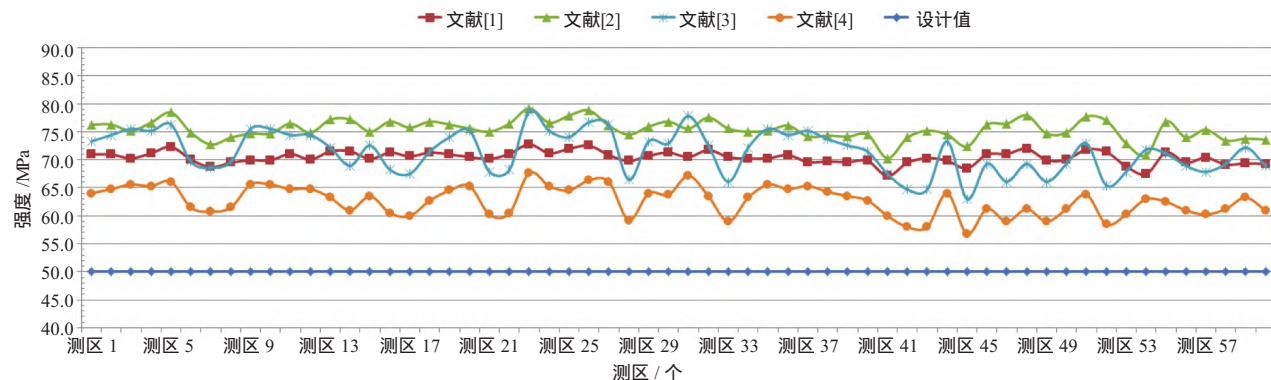


图 1 回弹法推定强度结果分布示意

### 2.2 试验数据统计

此次试验选取 6 个设计 C50 混凝土构件(包括 4 个桥墩盖梁、2 个板梁),共 60 个测区(每一测

区弹击 16 次)进行回弹法检测。依据检测结果可知:①按地标文献[1]高强回弹测强曲线计算的测区强度换算值在 67.1~72.7 MPa 之间,平均值为

70.4 MPa ;② 按行标文献[2]高强回弹测强曲线计算的测区强度换算值在 70.3~79.2 MPa 之间,平均值为 75.4 MPa ;③ 按地标文献[3]回弹测强曲线计算的测区强度换算值在 63.0~69.6 MPa 之间,平均值为 67.6 MPa ;④ 按行标文献[4]回弹测强曲线计算的测区强度换算值在 56.8~60.0 MPa 之间,平均值为 58.7 MPa。

说明 :①由于地标文献[3]、行标文献[4]回弹法检测混凝土强度测强曲线适用范围分别为 10~70 MPa、10~60 MPa ,因此,采用该两种标准测强曲线推定的测区换算强度超过其相应适用范围的,均在表 2 中以“>70”“>60”表示。②鉴于图例显示的需要,超出地标文献[3]、行标文献[4]回弹法检测混凝土强度测强曲线适用范围的,在图 1 中仍以该标准测强曲线推定值的计算数据予以体现。

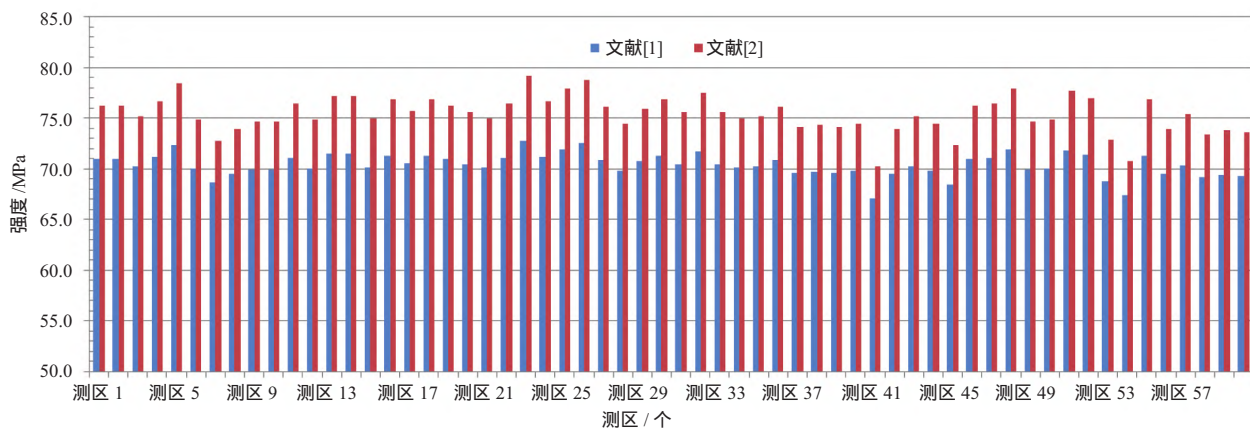


图 2 文献[1]、文献[2]高强回弹法推定强度对比示意

此外,由图 1 可知,地标文献<sup>[1]</sup>强度换算值分布较均匀,数据离散性较小。

## 2.4 研究成果及分析

(1) 回弹法检测混凝土强度是一种间接的表面硬度法,这种检测方法的结果受被检构件的表面质量影响较大,对施工方要求较高。

(2) 文献[1-4]测强曲线的换算结果存在一定的差异,应是由于文献[1-4]制定的曲线所采用的数据来源不同,试件原材料、配比及样本容量均有差异,从而导致测强曲线本身的不同<sup>[5]</sup>。

(3) 本次试验的数据结果表明,对于同一构件的不同测区回弹强度换算值基本较为接近,从而反映出所测结构表面混凝土均匀性较好,无明显较大差异。

(4) 此次各构件测区回弹换算值检测结果均大于设计值,表明本工程所用混凝土质量较可靠,满

## 2.3 试验数据分析

对特定的设计 C50 混凝土,通过采用高强回弹仪、中型回弹仪采集的回弹值,利用文献[1-4]相应的回弹测强曲线换算各测区回弹强度推定值。并将各数据进行对比分析,得出以下结果:

(1) 文献[1-4]各测区回弹换算强度值均大于 C50 设计强度,详见图 1。

(2) 总体比较,对于设计 C50 混凝土,行标文献[2]强度换算值大于地标文献[1]强度换算值约等于地标文献[3]强度换算值大于行标文献[4]强度换算值。

(3) 对于设计 C50 混凝土,通过高强回弹测强曲线换算的强度推定值,地标文献[1]强度换算值小于行标文献[2]强度换算值(见图 2),行标文献[2]强度换算值 $\approx 1.07$  地标文献[1]强度换算值。

足设计及规范要求,对工程结构安全有利。

## 3 结语

(1) 鉴于各标准对回弹法检测混凝土强度适用范围、测强曲线的差异,结合本次试验,实际混凝土强度检测时,在条件允许时,宜充分对比标准检测分析,以便较准确全面地获得被检构件的实际状态。

(2) 在这一背景下,对本地区目前设计强度 C50 混凝土,依据各规范回弹法检测并进行了对比试验结果分析,结果表明,文献[3]和文献[4]大部分测区强度换算值超过对应技术规程适用范围,无法获得该混凝土的实际强度值。为能更相对真实地反映出结构的状况,获得准确的测区回弹换算强度值,避免检测结果出现大的偏离,地标文献[1]和行标文献[2]更具有实用性。能相对真实地反映出结构的状况,可为各施工、管理、检测或养护单位提供更合适的数据。



(3) 依据检测结果,对本地区设计强度 C50 的混凝土,通过计算表明文献[1]强度换算值约等于文献[3]强度换算值,采用文献[1]强度换算值数据离散性较小。因此,本地区回弹法检测混凝土强度时,根据设计强度的不同,宜优先选用相适应的地方标准。

(4) 由于回弹法检测混凝土强度属于表面硬度法,对内外质量较均匀的混凝土结构,能较好的反映结构混凝土的强度。但对回弹检测结果有争议的,应采用钻芯法进行修正,以便获得较为可靠的结果。

参考文献:

[1] 高强混凝土抗压强度无损检测技术标准 DG/T

J08-507—2018[S].

[2] 高强混凝土强度检测技术规程 JGJ/T 294—2013[S].

[3] 结构混凝土抗压强度检测技术规程 DG/T J08-2020—2007[S].

[4] 回弹法检测混凝土抗压强度技术规程 JGJ/T 23—2011[S].

[5] 梁韶绵,刘颖波,庄勇杰,等.顺德地区 C50~C60 高强混凝土回弹法与钻芯法比对试验研究[J].广东土木与建筑,2021,49(7):76-80.

[6] 李福平回弹法检测商品混凝土强度适用性探讨[J].商品混凝土,2013,10(8):21-22,48.

[7] 李亚坤,荆鹏飞.混凝土强度检测技术及应用[J].金田,2012,43(7):369.

(收稿日期 2022-06-01)

(上接第 85 页)

在数据平台上完成施工、工程进度管理、物业管理等模拟工作,清晰划分施工总分包间工作界面,提前进行机电管线的碰撞探测与优化,结合现场施工情况极大地缩短了工期。同时 BIM 数据将项目建设各元件信息全面汇总起来,有效利用和开发这些信息,精确完成各个建筑部件生产资源投入情况的计算工作。该模型不仅为工程施工服务,同时也为项目设计方以及施工方搭建了互通有无的平台。

#### 4.4 运维环节的应用

项目投入运营后,需要做好工程设备状态的监控工作。BIM 模型中涵盖着项目工程所有数据信息,这些数据信息为工程后期的运维工作提供有效依据。为发挥这一作用,需要将运营信息和 BIM 软件整合起来,借助 BnVI 技术来实现<sup>[9]</sup>。

#### 5 结语

综上所述,BIM 技术在三甲医院建筑项目中的应用十分必要,使医疗工程建设信息化管理的目标高效实现,保障工程施工建设指导工作合理推进,也为后期维护工作提供了重要依据,不仅提升了工程质量,缩短了工期,还大大节省了建设成本,降低了建设风险,更好地服务于现代医疗事业。

BIM 技术促进作用:三甲医院可研立项阶段有直观的三维模型作为参照,保障获取的医疗工艺论证结果的精确性。让各个阶段的设计工作高效展开,使得设计成果直观、全面、细致。减少施工阶段

的无效返工,避免材料的浪费。促使医院建筑的医疗功能运营在建筑实体完成前便能得到模拟与优化,是三甲医院建筑项目交付即开业的保障之一。

参考文献:

[1] 纪晓鹏.BIM 技术在三甲医院项目中的应用[J].建筑技术,2019,50(7):829-832.

[2] 芦苇.精细化管理在公立医院改扩建工程项目管理中的应用[J].城市建设理论研究,2021,11(33):31-33.

[3] 刘凌琳.重庆巴南三甲医院项目的 BIM 应用[J].工程技术研究,2019,42(2):42-43.

[4] 范华冰,李文滔,魏欣,等.数字孪生医院——雷神山医院 BIM 技术应用与思考[J].华中建筑,2020,38(4):4.

[5] 张玉彬,赵奕华,严鹏华.基于 BIM 技术的医院洁净手术部需求、设计、施工联动机制[C]//中国医学装备大会暨第 27 届学术与技术交流年会论文汇编.中国医学装备协会,中国医学装备杂志社,2018.

[6] 游颖骏.关于 BIM 技术在绿色建筑设计中运用的思考[C]//中国医学装备协会,2018.

[7] 赵枫,马力.关于 BIM 技术在医院既有建筑新建和改造项目中的应用初探研究[J].建筑工程技术与设计,2018,6(33):249-250.

[8] 柏文杰,乔蓉艳,张宇,等.BIM 技术在项目管理中的实践与思考——以云南阜外医院项目管理 BIM 应用为例[J].建筑设计管理,2018,35(4):60-63.

[9] 严鹏华,张玉彬,赵奕华.BIM 技术在医院建设项目综合管线工程中的应用[J].中国医院建筑与装备,2018,19(9):98-100.

(收稿日期 2022-06-27)