

回弹法检测混凝土抗压强度

● 应用技术手册 ●

依据 **JGJ/T 23-2011** 编写

文恒武 编著

中国建筑工业出版社

回弹法检测混凝土抗压强度 应用技术手册

依据 JGJ/T 23-2011 编写

文恒武 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

回弹法检测混凝土抗压强度应用技术手册 依据 JGJ/T 23-2011 编写/文恒武编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011. 11

ISBN 978-7-112-13239-3

I. ①回… II. ①文… III. ①回弹法-应用-混凝土-抗压强度-检测-技术手册 IV. ①TU528-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 088988 号

本书围绕最新行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23-2011 的内容展开, 汇集了回弹法检测混凝土抗压强度相关领域的最新技术和最新研究成果, 涵盖了回弹法检测混凝土抗压强度应用技术的各个方面。针对实际应用的需要, 在对《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23-2011 条文进行了深度阐述和解析的基础上, 本书既阐明回弹法现场测试技术、数据分析技术、强度推定技术, 又论述回弹仪的构造、原理、检定方法及相关检测标准等内容; 既是数十年来回弹法检测混凝土抗压强度技术研究应用结果的总结, 又是对现行最新的回弹法检测混凝土抗压强度相关测试和检定标准的解释和说明; 既继承了回弹法检测混凝土抗压强度技术最基本和最核心的研究成果, 又与时俱进, 论述了当前最新的应用和发展。

本书从回弹法基本原理、应用研究过程、回弹仪的计量检定、回弹法检测混凝土强度的影响因素、回弹法测强曲线的建立、检测技术及数据处理、构件混凝土强度的计算、构件混凝土强度检测及计算举例等方面进行了剖析和论述。同时, 本书对未列入规范、处于发展中的新技术和某些特殊条件下的检测问题的原理和方法也进行了简要介绍; 对工程应用中提出的大量疑难问题也作了简要释义, 以供广大工程技术人员参考应用。

本书既是《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23-2011 的配套读本, 又是回弹法检测混凝土抗压强度技术的工具书, 可供设计、施工、监理、质量监督和检测等单位工程技术人员及高校土建专业师生参考使用。

* * *

责任编辑: 何玮珂 向建国

责任设计: 赵明霞

责任校对: 陈晶晶 赵 颖

回弹法检测混凝土抗压强度应用技术手册

依据 JGJ/T 23-2011 编写

文恒武 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京市铁成印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14 $\frac{3}{4}$ 字数: 350 千字

2011 年 8 月第一版 2011 年 12 月第三次印刷

定价: 48.00 元

ISBN 978-7-112-13239-3

(20674)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序

回弹法检测混凝土抗压强度是瑞士人史密特 20 世纪 40 年代中期发明的。由于其方便、快捷的特点，世界各国相继采用。20 世纪 50 年代中期，国内一些科研单位和厂家开始引进和研究。20 世纪 60 年代初，原天津建筑仪器厂仿照瑞士回弹仪，生产出我国第一代中型回弹仪并在全国推广使用。由于早期的研究并不深入，在对于影响回弹测强的各种因素以及回弹仪本身结构性能均未吃透的情况下，盲目放开推广，造成实际使用中测试结果误差很大。在一片“测不准”的声浪中，回弹测强这一原本很好的无破损检测方法顿时陷入了“鸡肋”的尴尬境地。

事情终于有了转机：1978 年，原国家建委将“混凝土非破损检测技术研究”列入全国建筑科学技术发展计划，并由全国许多科研单位、高等院校、生产厂家组成全国性的各个课题协作组，其中以陕西省建筑科学研究院为首的回弹法课题协作组便是其中之一。该课题协作组对回弹仪构造和测试性能、测强影响因素、现场测试技术、数据处理方法和强度评定标准等进行了一系列深入系统的试验研究，取得了较为满意的结果。其中特别值得称道的有两点：其一是提出了回弹仪标准状态；其二是考虑混凝土碳化深度的统一测强曲线。

由于充分了解了回弹仪的结构和各部件相互关联、作用，提出了一个回弹仪的标准状态。凡符合标准状态的任何一台回弹仪都真正具有 2.207J 的冲击动能和真实、一致的回弹高度。这就为制定测强曲线并推广运用奠定了基础，而不是像国外规程那样，只允许对测得的强度结果作相对比较用，或一台回弹仪标定一条曲线。

由于对影响回弹测强的各种因素作了深入细致的研究和分析，确定了碳化深度和表面湿度是主要的影响因素，提出了以表面风干状态的混凝土为基础，把碳化层厚度作为回归曲线的一个参数的强度换算模式。这大大提高了测强精度和制定统一测强曲线的可能性。

随后的一系列深入、稳健的工作，包括：制定全国统一测强曲线；编制回弹测强规程；建立回弹仪检定机构网络；编制回弹仪计量检定规程。这一系列工作使回弹测强技术稳步而健康地推广和发展。

随着回弹测强技术在我国广泛应用，回弹仪的研究、生产也蓬勃发展。从早期的仿制到后来的改进；从直读式普通回弹仪到数字化回弹仪；从中型回弹仪到轻型、重型回弹仪，一直不断进步。特别值得一提的是舟山市博远科技开发有限公司首创的“光栅—光藕”采样的数字回弹仪。它实现了较完美的对回弹值非接触式采样并使回弹仪主机与传感器功能独立，传感器可单独检定，既符合我国的各项规程，又使国产数字化回弹仪达到更为先进的水平。

当前，我国有全国统一的测试规程、仪器检定规程及检定的机构网络；有许多研究回弹法测强技术的科研单位及众多的回弹仪生产厂家。在应用方面，可以说只要有混凝土的工程，就有回弹法在应用。

回顾我国回弹法测强技术发展的历程和现状，可以毫不夸张地说，无论是研究和应用的深度和广度，我国的回弹法测强技术均处于世界的前列。

这一方面是我国经济建设迅猛发展对回弹法测强技术的发展提供了强大的动力；另一方面也是从事这项技术研究的许多单位、许多科研技术人员长期坚持不懈努力的结果。有的人为此付出了毕生的精力，早期的协作组负责人陈丽霞高级工程师就是一个突出的例子。

回弹仪是瑞士人发明的，但在中国发扬光大、遍地开花。作为从事混凝土无损检测技术的同仁们，自然希望我国回弹法测强技术能长盛不衰。这就需要大家的共同努力。作者编著这本书就是这种努力的一部分。

这是一本涵盖回弹法测强技术各个方面的著作。既包括回弹法现场测试技术、数据分析技术、强度推定技术等各个方面，也包括回弹仪的构造、原理、检定方法和标准。它既是数十年来回弹法测强技术研究应用结果的总结，也是对现行测试和检定规程的说明和解释。它既继承了回弹法测强技术最基本和核心的研究成果，又与时俱进，包括了当前最新的应用和发展。

您想要运用好这项技术，吃透这项技术，您就需要这本书，既为弄清楚也为备查；您想要在这项技术上有所发展和突破，您也需要这本书，因为“温故而知新”。

希望我国回弹法测强技术长盛不衰。这是我作为一个从事过混凝土无损检测技术研究的老人的心愿，也是这篇序的核心。

罗骥先

2011年4月于南京秦淮河畔

前 言

回弹法是混凝土抗压强度无损检测方法之一，回弹法检测混凝土抗压强度的研究和应用在我国已经进行了 50 多年。几十年来，我国的广大科技工作者在回弹仪的生产制造、计量检定、应用规程等方面进行了大量系统的研究，形成了一套完整的技术体系。我国与之配套的标准有：中华人民共和国行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23，中华人民共和国国家标准《回弹仪》GB/T 9138，中华人民共和国国家计量检定规程《回弹仪》JJG 817。回弹法检测混凝土抗压强度，已经成为我国混凝土工程现场强度检测最广泛、最方便、快捷的检测方法。回弹仪已经成为我国工程建设中的质量控制、质量监督、质量检测过程中必不可少的检测仪器，对提高我国工程质量无损检测水平、保证工程质量发挥着重要作用。我国已成为世界上最大的回弹仪生产国和使用国，年产、销回弹仪 40000 多台，产品出口多个国家和地区。我国对回弹仪的生产、使用、检定等方面的研究已经走在世界前列。

为了配合中华人民共和国行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23—2011 的宣贯实施，使广大运用回弹法检测混凝土抗压强度的工程技术人员对该规程有一个全面、系统的了解，进而正确地应用该规程，编者总结了国内外回弹法检测混凝土抗压强度的相关研究资料，编写了本手册。

本书第一章和第二章全面地介绍了回弹法的基本原理和应用研究过程；第三章和第四章介绍了回弹仪的标准状态，影响回弹仪标准状态的主要因素和回弹仪的维护保养方法；对回弹仪检定进行了系统的论述；第五章从十个方面全面论述了影响回弹法检测混凝土抗压强度的主要因素；第六章和第七章介绍了测强曲线的建立方法及实验数据的处理方法；第八章和第九章介绍了构件混凝土强度的计算方法及应用举例；第十章为相关的国内外标准。本书还对目前不同学术观点进行了介绍，可供参考。

本书可作为回弹法检测混凝土强度及回弹仪检定人员的应用手册，亦可作为其他相关技术人员的参考资料。

本书是在原陈丽霞等人编著的《〈回弹法检测混凝土抗压强度技术规程〉JGJ/T 23—2001 宣贯材料》基础上，经充实、编著而成，国外标准部分由王景贤翻译校对。

本书在编著过程中得到了张保、诸华丰、周岳年、张伟等同行的大力支持和帮助，在此表示诚挚的谢意！由于编者水平有限，本书错误和不当之处，敬请批评指正（意见请寄 sjkwhw @126.com）。

目 录

第一章 概述	1
第二章 回弹法的基本原理	4
第三章 回弹仪	6
第一节 回弹仪的分类	6
第二节 回弹仪的主要技术参数	6
第三节 回弹仪的构造及工作原理	7
第四节 影响回弹仪检测性能的主要因素	9
第五节 数字式回弹仪	14
第六节 数字回弹仪的基本要求	16
第七节 数字回弹仪技术	17
第八节 国内数字回弹仪相关专利简介	26
第九节 能量式回弹仪	29
第十节 回弹仪的率定	31
第十一节 回弹仪的操作、保养	32
第十二节 回弹仪的常见故障及排除方法	33
第四章 回弹仪的计量检定	35
第一节 回弹仪检定的意义	35
第二节 回弹仪的检定周期和检定项目	36
第三节 回弹仪检定器	38
第四节 回弹仪的检定方法	39
第五节 回弹仪检定中回弹值不确定度评定报告	40
第六节 有关回弹仪检定的讨论	48
第五章 回弹法检测混凝土强度的影响因素	50
第一节 原材料	50
第二节 外加剂	54
第三节 成型方法	55
第四节 养护方法及湿度	56
第五节 碳化及龄期	58
第六节 混凝土的异常碳化	60
第七节 模板	63
第八节 泵送混凝土	64
第九节 高强混凝土的检测	66
第十节 其他	69

第六章 回弹法测强曲线的建立	71
第一节 测强曲线的分类及形式	71
第二节 专用测强曲线	72
第三节 统一测强曲线	73
第七章 检测技术及数据处理	79
第一节 检测准备	79
第二节 检测方法	79
第三节 数据处理	81
第八章 构件混凝土强度的计算	88
第一节 测区混凝土强度值的确定	88
第二节 构件混凝土强度的计算	88
第三节 混凝土强度推定值的保证率分析	89
第四节 混凝土强度推定值与试块强度分析	99
第五节 混凝土强度的修正	102
第九章 构件混凝土强度检测及计算举例	106
附录 国内外相关标准	118
附录 1 中华人民共和国行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》 JGJ/T 23-2011	118
附录 2 中华人民共和国国家计量检定规程《回弹仪》 JJG 817-2011	156
附录 3 陕西省工程建设标准《回弹法检测高强混凝土抗压强度技术规程》 DBJ 24-24-03	166
附录 4 陕西省工程建设标准《回弹法检测泵送混凝土抗压强度技术规程》 DBJ/T 61-46-2007	185
附录 5 美国材料试验协会标准《硬化混凝土回弹值检测方法》 ASTM C 805/C805M-08	211
附录 6 国际标准化组织标准《混凝土试验——第 7 部分：硬化混凝土的无损试验》 ISO 1920-7-2004	216
附录 7 英国标准《结构用混凝土试验——第 2 部分：无损检测——回弹值的测定》 BS EN 12504-2-2001	222

第一章 概 述

1945 年瑞士人史密特发明了回弹仪并获得了专利, 所以, 在世界上有些国家回弹仪也被称作“史密特锤”。它是借助于已获得一定能量的弹击拉簧所连接的弹击锤冲击弹击杆后, 弹击锤向后弹回, 并在回弹仪机壳的刻度尺上指示出回弹的位移值即回弹值, 通过回弹值, 人们借助于其他参数就可以得到被弹物体的抗压强度。

20 世纪 50 年代中期, 我国引进瑞士回弹仪进行回弹法检测混凝土抗压强度的研究。20 世纪 60 年代原天津建筑回弹仪厂引进中型回弹仪的生产技术, 生产出我国第一代能量为 2.207J 用于检测混凝土抗压强度的回弹仪。经过不断改进, 混凝土回弹仪的质量不断提高, 随后各有关单位又相继开发出了用于检测黏土砖抗压强度、砌体砂浆抗压强度、高强混凝土抗压强度的回弹仪和人工智能化的数字式回弹仪。2002 年日本龟昌精机株式会社在天津投资成立贵昌精密机械(天津)有限公司, 主要生产混凝土回弹仪。

采用标准能量为 2.207J 的混凝土回弹仪检测构件混凝土的抗压强度的方法(简称回弹法), 自问世以来在建设工程应用中已有半个多世纪。尽管国内外的许多单位也先后研制及生产了一系列用于混凝土非破损检测的回弹仪和其他检测方法, 同时对各种发展起来的新的测试技术进行了深入广泛的研究, 但回弹法仍以其操作简单、使用方便、经济、迅速和具有相当的测试精度, 而始终保持着它在混凝土强度非破损检测领域内相当优越的地位, 被广泛应用于工程质量控制、质量监督、质量检测的各个环节, 是保证工程质量的主要手段。

目前, 回弹法在国外的应用主要有三方面: (1) 只作混凝土均匀性的判断及各构件质量的相对比较用, 不作强度推算用; (2) 以一定数量的试件来标定, 求出强度与回弹值关系后作为判断强度辅助手段; (3) 以一定数量的试件来标定, 求得相关关系后可作为推算强度的手段。

尽管国外对回弹法的研究起步较早, 有相当的广度, 但深度不够。在这些国家的回弹法标准中有关回弹仪状态的说明几乎都指出: 不同回弹仪的测试性能并不完全一致, 以至在进行现场检测时, 需要使用用于建立测强曲线时的回弹仪, 如果采用同类其他回弹仪则应进行验证后方可使用。也就是说一台回弹仪应分别建立一条测强曲线, 当采用其他回弹仪时应先进行验证, 否则不得使用。

其次, 在以测定强度为主要内容的标准中, 各国对于龄期的处理也不尽相同, 有磨蚀碳化层法、龄期限定法、龄期修正法和校正曲线法等。这些方法在实际的应用过程中还存在一定的困难, 有时会引起新的误差, 因而阻碍了回弹法进一步的推广应用。

我国自 20 世纪 50 年代中期就开始采用回弹法来测定现场混凝土的抗压强度。国内一些单位对回弹仪性能影响因素、测试技术、测强曲线等逐步开展了研究工作。1963 年原建筑工程部建筑科学研究院召开过“回弹仪检验混凝土强度和构件试验方法技术交流会”, 并于 1966 年出版发行《混凝土强度的回弹仪检验技术》一书, 对回弹法的应用起过积极

推动的作用。但是,由于当时在研究内容的深度和广度方面存在一定的局限性,并缺乏相应的管理,以致大部分地区基本上处于强度测试结果因回弹仪而异、因人而异、因方法而异、因测强曲线而异的混乱状态。使回弹法在我国的应用处于“用之不准、弃之不能”的境地。

1978年原国家建委将包括回弹法在内的“混凝土强度非破损检测技术研究”列入全国建筑科学技术发展计划中,并组成课题协作组。其中回弹法专题组通过对回弹仪测试性能、测强影响因素、现场测试技术、数据处理方法和强度评定标准等进行深入系统的试验和统一性研究后,取得了较为满意的结果,提出了具有中国特色的回弹仪标准状态和考虑混凝土碳化深度的测强曲线,基本解决了控制回弹法测强相对误差在 $\pm 15\%$ 以内的关键和普遍推广应用的中心环节。适应了我国幅员广大、地域辽阔、气候悬殊、材料多变、工程分散以及混凝土强度等级和施工技术水平都不高的特点。通过对包括葛洲坝水利枢纽部分混凝土工程在内的150余项重点工程强度质量的检测,积累了大量的实测数据和资料。1981年,回弹法测强专题项目,通过部级技术鉴定。

1982年,建设部下达了部标准《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》的编制任务,该标准总结了我国30年来使用回弹法检验混凝土强度的经验和科研成果,又对一些重要的影响因素进行了复验性试验研究,从我国实际情况出发,参考了国外同类标准,经多次专门会议讨论,于1985年1月批准颁发。这是我国第一本非破损检验混凝土质量的专业标准。该标准名称为《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》JGJ 23—85。

为了正确使用《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》JGJ 23—85,减少因使用不当而对混凝土质量造成错判或漏判,保证《规程》的正确贯彻执行,在我国大部分省、市地区建立了相应的《规程》管理小组,负责检查或监督该规程的执行情况,负责对回弹仪标准状态的检定等等。

为了规范回弹仪的生产,1988年我国颁布了回弹仪的国家标准,《回弹仪》GB/T 9138—1988。

1989年,建设部下达了对《回弹法评定混凝土抗压强度技术规程》JGJ 23—85的修订任务。1991年修订任务完成后该规程更名为行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23—92。为了配合混凝土回弹仪标准状态的检定及修理工作,1992年根据国家技术监督局(计)发(1991)091号文件制订完成了国家计量检定规程《混凝土回弹仪》JJG 817—93。

随着我国回弹法技术的发展,它在混凝土工程质量检测中发挥了重要的作用,已在建筑、公路、交通、水利、铁道等行业中广泛应用。同时新技术、新材料的出现,尤其是泵送混凝土的逐步普遍应用,也要求进一步深入研究以适应新情况,使回弹法不断地完善。2000年初,建设部建标[1999]309号文下达了《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23—92的修订任务。2001年,新修订的《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》被建设部批准实施,其标准编号为JGJ/T 23—2001。

根据住房和城乡建设部建标[2008]102号文件,《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23—2001的修订被列入该计划。经过两年多的实验研究工作,已经完成了《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23—2011的修订工作。这次修订过程中:

1. 增加了数字式回弹仪的技术要求,规范了数字式回弹仪的应用条件;
2. 针对泵送混凝土

土的大量普及使用，这次把全国实验的 9843 个实验数据进行单独回归，成为泵送混凝土的测强曲线方程，废除了原规程中对于泵送混凝土进行修正的方法，增加了泵送混凝土的检测方法，从而提高了泵送混凝土的检测精度；3. 把回弹法检测条件不适应时进行修正的时候，由原来的修正系数改为修正量法，这样修改的好处是，修正量法对测区强度进行修正后，只修正混凝土测区强度值，不会改变同一构件或同批构件的标准差；4. 开展了回弹法检测高强混凝土抗压强度的实验研究。

回弹仪在我国的应用已四十多年了，我国的广大科技工作者在回弹仪的生产制造、计量检定、应用规程等方面进行了大量系统的研究，形成了完整的技术体系。我国与之配套的标准有：中华人民共和国行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23，国家标准《回弹仪》GB/T 9138，国家计量检定规程《回弹仪》JJG 817。回弹法检测混凝土抗压强度，已经成为我国混凝土工程现场原位检测的最有效、最方便的检测方法。回弹仪已经成为我国工程建设中的质量控制、质量监督、质量检测过程中必不可少的检测仪器，对提高我国工程质量无损检测水平、保证工程质量发挥着重要作用。我国已成为世界上最大的回弹仪生产国和使用国，年产、销回弹仪 40000 多台。产品出口朝鲜、伊朗、新加坡、韩国、美国等国家和地区。我国对回弹仪的生产、使用、检定等方面的研究已经处于世界领先。

第二章 回弹法的基本原理

混凝土是工程建设中用量最大的工程材料，混凝土的质量受原材料、成型养护工艺和施工技术的影响，会出现较大的差异。当原材料和施工过程中出现某些薄弱环节时，就会导致混凝土质量产生程度不同的缺陷，包括外观质量、强度和内部存在孔洞、不密实区、裂缝等，在不同程度上影响工程的安全可靠性、使用功能和外形美观。

强度是混凝土最重要的力学性能指标，混凝土的强度有：抗压强度（立方体抗压强度和轴心抗压强度）、抗拉强度、抗折强度（也叫抗弯强度）、劈裂强度等。

混凝土强度的增长是随着水泥的水化而进行的，混凝土的强度不仅与混凝土的配合比、原材料、生产过程有关，而且与混凝土的浇筑、振捣、养护等各个环节都有着密切的关系。通常情况下，按照我国现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《混凝土强度检验评定标准》GB/T 50107 的规定，采用标准养护试件和同条件试块作为混凝土强度等级评定的依据。我国《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 规定：当出现：①涉及结构安全的试块、试件以及有关材料检验数量不足时；②对施工质量的抽样检测结果达不到设计要求时；③对施工质量有怀疑或争议，需要通过检测进一步分析结构的可靠性时；④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。应进行建筑结构工程质量的检测，检测结果可以作为处理混凝土质量问题的依据。有些地方的建设行政主管部门，针对当地的施工和管理水平相继出台了一些地方规定。例如，有的地方规定对混凝土结构的主要构件抽取一定比例进行混凝土强度的原位检测。有的工程或项目为了尽早了解和掌握混凝土强度的发展情况，需要对混凝土进行原位检测，现场检测一般用非破损方法。

非破损检测混凝土强度的一般原理，是建立在所测得的某一物理特征值 u 和混凝土的抗压强度 Y 的函数关系基础上的，即所谓单一法：

$$Y=f(u) \quad (2-1)$$

也可由测得的几个物理特征值 u 、 z 、 m ……和 Y 来建立函数关系，即所谓综合法。

$$Y=f(u, z, m, \dots) \quad (2-2)$$

由此建立的函数关系，一般由公式或曲线方程来表示，称之为回归方程或校准曲线（率定曲线）。只要在构件上测出 u 、 z 、 m ……的值，就可由已建立的公式或曲线换算出构件混凝土的强度值 f_{cu} 。

目前，我国用于检测混凝土抗压强度的非破损（或微破损）的标准有：

(1) 中华人民共和国行业标准《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23—2011

(2) 中华人民共和国行业标准《后锚固法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 208—2010

(3) 中国工程建设标准化协会标准《钻芯法检测混凝土抗压强度技术规程》

CECS 03 : 2007

(4) 中国工程建设标准化协会标准《超声回弹综合法检测混凝土抗压强度技术规程》
CECS 02 : 2005

(5) 中国工程建设标准化协会标准《后装拔出法检测混凝土抗压强度技术规程》
CECS 69 : 94

(6) 中国工程建设标准化协会标准《剪压法检测混凝土抗压强度技术规程》CECS
278 : 2010

回弹法是非破损技术检测混凝土抗压强度的一种最常用的方法, 具有准确、可靠、快速、经济等一系列的优点, 因此近几十年来其研究和应用发展很快, 已成为工程建设中质量控制、质量监督、质量检验的重要方法。

回弹法是利用混凝土的表面硬度(回弹值)与混凝土抗压强度之间的函数关系式来推定混凝土抗压强度的一种间接检测混凝土抗压强度的方法。

用于测定混凝土强度的回弹仪, 是一种直射锤击式回弹仪。它借助于已获得一定能量的弹击拉簧所连接的弹击锤冲击弹击杆后, 弹击锤向后弹回, 在回弹仪机壳上的刻度尺指示出弹回的位移即回弹值。

回弹值的大小, 取决于与冲击能量有关的回弹能量, 而回弹能量主要取决于被测混凝土的弹塑性性能。其能量的传递和变化概述如下:

设回弹仪的弹击能量(标准能量)为 E , 则由功能原理:

$$E = \sum A_i = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 \quad (2-3)$$

式中 A_1 ——使混凝土产生塑性变形的功;

A_2 ——使混凝土、弹击杆及弹击锤产生弹性变形的功;

A_3 ——弹击锤在冲击过程中和指针在移动过程中因摩擦损耗的功;

A_4 ——弹击锤在冲击过程中和指针在移动过程中克服空气阻力的功;

A_5 ——混凝土产生塑性变形时增加自由表面所损耗的功;

A_6 ——回弹仪在冲击时由于混凝土构件的颤动和弹击杆与混凝土表面移动而损耗的功。

A_3 、 A_4 、 A_5 、 A_6 一般很小, 当混凝土构件具有足够的刚度且在冲击过程中回弹仪始终紧贴混凝土表面时, 均可略而不计。在一定的冲击能量作用下, A_2 的弹性变形接近为常数。因此弹回距离主要取决于混凝土的塑性变形。混凝土的强度愈低, 则塑性变形愈大, 塑性变形所吸收的能量也大, 回弹能量愈小, 从而回弹值就愈小, 反之亦然。据此, 可由实验方法建立“混凝土抗压强度—回弹值”的相关曲线, 通过回弹仪对混凝土表面弹击后的回弹值来推算混凝土的强度值。

第三章 回 弹 仪

第一节 回 弹 仪 的 分 类

回弹仪按照弹击能量和用途可分为重型、中型和轻型三种类型，六种规格。其中轻型回弹仪可用于水泥砂浆和普通烧结黏土砖的抗压强度检测，中型和重型（也叫高强回弹仪）用于混凝土抗压强度的检测。回弹仪的分类与代号由表 3-1 表示。

回弹仪的分类与代号 表 3-1

分 类	标称能量 (J)	类 型 代 号
重 型	9. 800	H980
	5. 500	H550
	4. 500	H450
中 型	2. 207	M225
轻 型	0. 735	L75
	0. 196	L20

注：数字式回弹仪的变型代号为 D。

第二节 回弹仪的主要技术参数

1. 回弹仪的弹击能量

回弹仪弹击锤水平弹击时的弹击能量见表 3-2。

回弹仪弹击锤水平弹击时的弹击能量 表 3-2

代 号	H980	H550	H450	M225	L75	L20
弹击能量 (J)	9. 800	5. 500	4. 500	2. 207	0. 735	0. 196

2. 弹击锤的质量与回弹仪的钢砧回弹值

回弹仪弹击锤的质量和回弹仪的钢砧回弹值见表 3-3。

弹击锤质量和钢砧的回弹值 表 3-3

项 目	技 术 要 求					
	H980	H550	H450	M225	L75	L20
质量 (g)	920±10	420±6	520±7	370±5	145±3	100±2
钢砧回弹值	83±2		88±2	80±2	74±2	

3. 弹击拉簧

弹击锤与弹击杆碰撞瞬间，弹击拉簧处于自由状态。弹击拉簧的自由长度、冲击长度

和刚度应符合表 3-4 的规定。

弹击拉簧的自由长度、冲击长度和刚度

表 3-4

项 目	技 术 要 求					
	H980	H550	H450	M225	L75	L20
自由长度 (mm)	134.4±0.5	86.0±0.5	106.0±0.5	61.5±0.3		
冲击长度 (mm)	140.0±0.5	100.0±0.5		75.0±0.3		
刚度 (N/m)	100±45	1100±50	900±40	785±35	261±12	69±4

4. 指针滑块摩擦力

回弹仪的指针轴上指针滑块的摩擦力应符合表 3-5 的规定。

回弹仪指针滑块的摩擦力

表 3-5

型 号	H980	H550	H450	M225	L75	L20
指针滑块摩擦力 (N)	0.65±0.15				0.50±0.10	

5. 弹击杆

回弹仪弹击杆端部球面半径应符合表 3-6 的规定。

回弹仪弹击杆端部球面半径

表 3-6

型 号	H980	H550	H450	M225	L75	L20
球面半径 (mm)	40.0±1.0	18.±1.0	45.±1.0	25.0±1.0		

第三节 回弹仪的构造及工作原理

现在应用的回弹仪主要是指针直读式和数字式回弹仪，它们是通过测定和读取回弹仪上的回弹值即位移值，通过对位移值及其他参数的计算和处理来推定被测混凝土的抗压强度值的。另外还有通过测定和计算回弹仪弹击前后的能量比，进而推定混凝土抗压强度的能量法。其中以指针直读的直射锤击式回弹仪应用最广，其构造见图 3-1。

回弹仪工作时，随着对回弹仪施压，弹击杆（11）徐徐向机壳内推进，弹击拉簧（14）被拉伸，使连接弹击拉簧的弹击锤（7）获得恒定的冲击能量 E （图 3-2），当回弹仪水平状态工作时，其冲击能量 E 可通过虎克定律计算。

$$E = \frac{1}{2} KL^2 \quad (3-1)$$

式中 K ——弹击拉簧的刚度；

L ——弹击拉簧工作时拉伸长度。

以我们常用的中型回弹仪（即 M225）为例，其弹击拉簧的刚度为 785.0N/m，弹击拉簧工作时的拉伸长度为 0.075m。通过式（3-1），我们可以求出中型回弹仪的冲击能量为：

$$E = \frac{1}{2} KL^2 = \frac{1}{2} \times 785.0 \times 0.075^2 = 2.207 \text{ (J)}$$

同理，我们可以计算出其他规格型号回弹仪的冲击能量。

当挂钩（3）与调整螺钉（2）互相挤压时，使弹击锤脱钩；脱钩后弹击锤的冲击面与

弹击杆的后端平面相碰（图 3-3、图 3-4），此时弹击锤释放出来的能量借助弹击杆传递给混凝土构件，混凝土弹性反应的能量又通过弹击杆传递给弹击锤，使弹击锤获得回弹的能量向后弹回。计算弹击锤回弹的距离 L' 和弹击锤脱钩前距弹击杆后端平面的距离 L 之比，即得回弹值 R （图 3-5），它由回弹仪外壳上的标尺（15）示出。我们就可以获得被弹击混凝土的回弹值。

$$R = \frac{L'}{L} \times 100 \tag{3-2}$$

式中 R ——回弹值；
 L' ——弹击锤向后弹回的距离；
 L ——冲击前弹击锤距离弹击杆的距离。

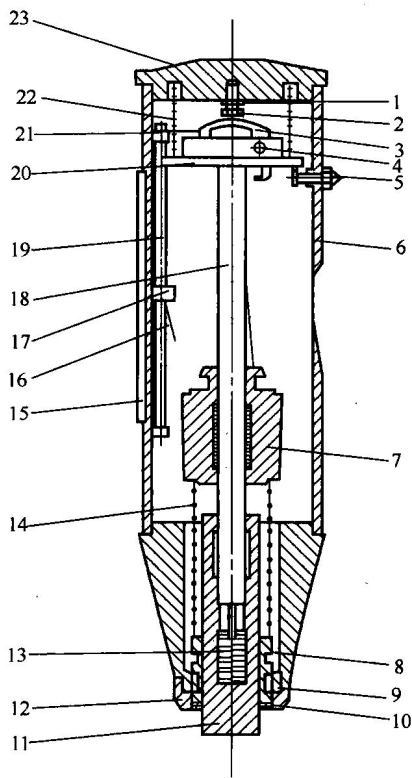


图 3-1 回弹仪构造和主要零件名称
1—紧固螺母；2—脱钩位置调整螺钉；
3—挂钩；4—挂钩销子；5—锁定按钮；
6—机壳；7—弹击锤；8—拉簧座；9—
卡环；10—密封毡圈；11—弹击杆；
12—盖帽；13—缓冲压簧；14—弹击拉
簧；15—标尺；16—指针片；17—指针
块；18—中心导杆；19—指针轴；20—
导向法兰；21—挂钩压簧；22—复位压
簧；23—尾盖

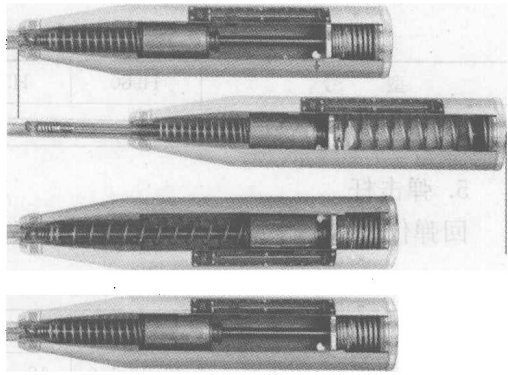


图 3-2 回弹仪内部结构

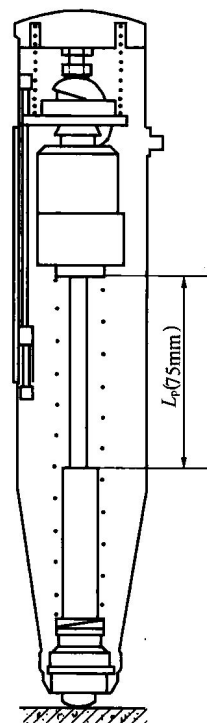


图 3-3 弹击锤脱钩前的状态

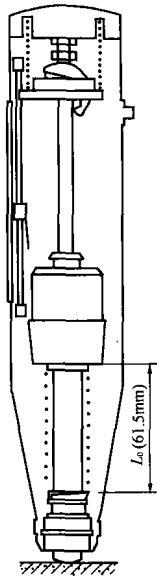


图 3-4 弹击锤脱钩后的状态

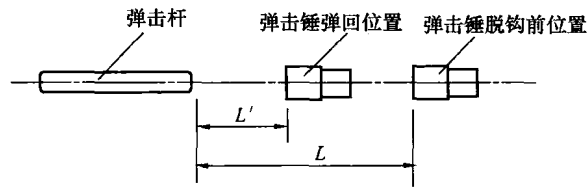


图 3-5 回弹值示意图

第四节 影响回弹仪检测性能的主要因素

回弹仪的零部件、各个部件的相对位置、各个部件的工作状态，都直接或间接地影响回弹仪测试性能和正确反映回弹仪按其原理正常工作的状态（即标准状态）。陕西省建筑科学研究院对此曾进行了系统的试验研究，认为影响回弹仪测试性能的主要因素是机芯主要零件的装配尺寸、主要零部件的质量和机芯装配质量。

1. 机芯主要零件装配尺寸

回弹仪机芯主要零件的装配尺寸是指：弹击拉簧的工作长度 L_0 ，弹击锤的冲击长度 L_p （弹击拉簧的拉伸长度）以及弹击锤的起跳位置等。这三个装配尺寸工作时互相影响，严格控制这三个装配尺寸，是统一回弹仪性能的重要前提。

1) 弹击拉簧的工作长度 L_0

L_0 是指拉簧座后端沿口至弹击锤挂簧孔边缘大面间的距离。当弹击锤脱钩弹击时，弹击锤与弹击杆两冲击面碰撞的瞬间，弹击拉簧应处于自由状态，其值应为（M225 型）61.5mm（图 3-4）。

如果 $L_0 > 61.5\text{mm}$ ，那么弹击锤冲击弹击杆的瞬间，拉簧受到了挤压，冲击后由于拉簧要恢复到自由状态亦即 $> 61.5\text{mm}$ 的状态，就在两冲击面之间形成一间隙 ΔL ，使弹击锤比设计规定的位置向后挪了一段距离 ΔL （图 3-6），造成实际的回弹能量增加，所测回弹值偏高。

如果 $L_0 < 61.5\text{mm}$ ，弹击锤冲击弹击杆的瞬间，拉簧不能恢复到自由状态，而被拉长了长度 $(-\Delta L)$ ，使弹击锤回弹时要克服一个反方向的拉力 f （图 3-7），造成实际的回弹能量减小，所测回弹值偏低。