

既有混凝土结构检测鉴定与加固设计研究

章 欣

南昌市建筑科学研究所有限公司, 江西 南昌 330000

[摘要]既有混凝土结构在长期使用中,由于受到环境侵蚀、荷载反复、使用功能改变等各方面的影响,都会产生材料性能退化、构件承载力不足等问题,必须依靠科学的检测鉴定和合理的加固设计来加以解决。文中从结构加固设计基本准则出发,分析既有混凝土结构存在的主要问题,然后从加大截面加固、外包钢与粘钢加固、碳纤维复合材料加固、预应力与增设构件加固、综合加固设计优化等角度出发,研究有针对性的加固设计方法。研究结果表明,已有混凝土结构加固设计要以可靠性鉴定为基础,考虑技术可行性、经济合理性来确定加固方案,文中建立的“问题-方法”对应关系以及综合优化策略可以给类似工程的检测鉴定和加固设计提供系统的技术参考。因此可以提高结构的安全性,延长服役寿命。

[关键词]既有混凝土结构;检测鉴定;加固设计

DOI: 10.33142/aem.v8i6.20102

中图分类号: TU375.1

文献标识码: A

Research on Inspection, Identification, and Reinforcement Design of Existing Concrete Structures

ZHANG Xin

Nanchang Institute of Building Science Co., Ltd., Nanchang, Jiangxi, 330000, China

Abstract: In the long-term use of existing concrete structures, due to various factors such as environmental erosion, repeated loads, and changes in functional use, material performance degradation and insufficient bearing capacity of components may occur. Scientific testing and identification, as well as reasonable reinforcement design, must be relied upon to solve these problems. Starting from the basic principles of structural reinforcement design, this article analyzes the main problems existing in existing concrete structures, and then proposes targeted reinforcement design methods from the perspectives of increasing section reinforcement, external steel wrapping and bonding reinforcement, carbon fiber composite material reinforcement, prestressing and additional component reinforcement, and comprehensive reinforcement design optimization. The research results indicate that the reinforcement design of existing concrete structures should be based on reliability assessment, considering technical feasibility and economic rationality to determine the reinforcement scheme. The "problem method" correspondence relationship and comprehensive optimization strategy established in the article can provide systematic technical references for the detection, identification, and reinforcement design of similar projects. Therefore, it can improve the safety of the structure and extend its service life.

Keywords: existing concrete structures; testing and identification; reinforcement design

引言

伴随着我国城市建设的发展转变,既有建筑结构的检测鉴定和加固改造也成了行业所重视的问题。混凝土结构在应用中耐久性、安全性不可避免地会因为环境侵蚀、荷载反复和材料自身老化而逐渐降低。由于早期设计标准较低、施工质量参差不齐,大量的既有混凝土结构需要经过科学的检测鉴定和合理的加固设计,才能达到恢复或者提高其安全性的目的。混凝土结构加固设计规范 GB50367

明确指出,混凝土结构加固要达到技术可靠、安全适用、经济合理、保证质量的目的。《既有建筑鉴定与加固通用规范》GB 55021 是强制性国家标准,对既有建筑鉴定和加固提出检测、安全性鉴定、抗震鉴定、结构加固的基本要求。本文在整理结构加固设计基本原则的基础上,对既有混凝土结构存在的主要问题进行分析,并提出相应的加固设计方法。

表 1 存在问题与加固方法对应关系

存在问题	对应加固方法
材料性能退化	加大截面加固设计
构件承载力不足	外包钢与粘钢加固设计
结构整体性缺陷	碳纤维复合材料加固设计
功能改变导致的结构问题	预应力与增设构件加固设计
抗震与耐久性性能不足	综合加固设计优化

1 结构加固设计的基本原则

既有混凝土结构加固设计是一项系统工程，其基本原则就是保证加固后结构的安全、适用、耐久的前提。加固设计要以可靠鉴定结论为依据，根据委托方的要求确定加固范围；对于整体建筑或者独立区段，都应从体系上保证结构整体牢固性，通过增加备用传力路径、提高延性等手段，防止局部破坏造成连续倒塌。

设计过程要和施工方法紧密结合，用可靠的构造措施保证新增构件和原结构有效连接，使新旧截面粘结牢固、形成整体协同受力，杜绝界面滑移或者剥离造成共同工作失效。结构作用效应计算要按照《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定，采用线弹性分析法，荷载取值和材料强度参数要根据现场实测、调查结果来确定，真实地反映结构目前的技术状况。

既有建筑的鉴定必须同时进行安全性鉴定和抗震鉴定，不能偏废；加固设计也要统筹承载能力加固和抗震能力加固，以恢复结构的安全使用功能、延长服役年限为根本目的。施工过程中如果存在倾斜、失稳或者坍塌等危险，设计文件应当提出有效的临时安全措施。抗震设防区除满足承载力要求外，还要复核整体抗震能力，防止由于局部增强造成刚度突变、承载力剧变，形成新的薄弱层或者不规则传力路径。同时加固设计要考虑到耐久性要求，根据环境侵蚀因素采取相应的防护措施，保证加固效果在预期使用年限内一直有效。这些原则一起成为既有混凝土结构加固设计的理论基础。

2 既有混凝土结构存在问题分析

2.1 材料性能退化问题

既有混凝土结构在长期服役中材料性能会不可逆衰减。混凝土碳化造成钢筋钝化，被水和氧所影响而产生电化学腐蚀。锈蚀不但会削弱钢筋的截面，还会造成保护层开裂剥落，进而加重侵蚀。反复荷载产生疲劳损伤，收缩徐变造成预应力损失，冻融破坏表层剥落，化学侵蚀削弱骨料和浆体的粘结。这些退化是隐蔽的、渐进的，必须依靠超声波、雷达、电化学等无损检测手段，综合测定碳化深度、电阻率、腐蚀电位、腐蚀电流密度等参数，当腐蚀电流密度大于 $1.0\mu\text{A}/\text{cm}^2$ 时应及时处理。正确获得退化指

标对判断材料剩余性能、确定加固时间及方案起着十分重要的作用。

2.2 构件承载力不足问题

承载力不够会直接危及结构的安全。梁板抗弯能力不足时，挠度和裂缝宽度超标，严重时受拉钢筋屈服、受压区混凝土压碎；柱墙在轴压较大时会出现混凝土提前压碎的脆性破坏；抗剪不足就表现为梁端或者柱根出现斜裂缝，容易引起无预警的剪切破坏；节点核心区也会出现冲切或者局压破坏。鉴定应根据实际受力及构造情况，从承载能力、构造连接、变形损伤等几个方面逐一评定，计算时应采用现场实测的材料强度和实际荷载，考虑构件的实际边界条件，保证计算模型反映现状。系统识别出承载力薄弱环节和失效机理之后，才能给加固设计赋予可靠的依据，防止局部破坏危及整体安全。

2.3 结构整体性缺陷问题

既有混凝土结构整体性缺陷一般比单一构件承载力问题更隐蔽、更危险。早期建造的混凝土结构大多设计标准低，安全储备一般不大。施工质量缺陷，比如混凝土振捣不密实，钢筋间距过大等都会使构件之间存在连接薄弱的状况。结构整体牢固性指的是结构有足够延性和冗余度，其综合作用就是使结构在局部构件失效之后仍能保持整体稳定。但是很多已有的结构在传力路径上存在不清楚的地方，荷载不能按照预期路径有效传递和重分布。基础不均匀沉降会造成上部结构产生附加内力，造成梁、板等构件出现超出设计预期的裂缝和变形。不得因为局部加固而造成结构承载力、刚度突然变化。结构整体性缺陷的存在，即使单个构件满足承载力要求，整个结构在极端荷载作用下安全性也很难得到保证，必须从结构体系的角度对结构进行整体评价。

2.4 功能改变导致的结构问题

伴随着社会经济的发展以及建筑功能需求的改变，大量的既有混凝土结构存在着使用功能改变的问题。当建筑由原来的住宅功能改为商业、办公或者仓储等其他功能的时候，使用荷载大大增加，超过原来的设计水平。楼面活荷载标准值提高，直接造成梁、板构件内力增大，原有的配筋不能满足新的承载要求。凡因加固、改变用途或者延长工作年限而进行的安全性鉴定，均应在实测现有荷载的基础上，加上拟增荷载，按现行规范进行验算。功能改变还会引起楼板开洞、隔墙拆除或者增设等改造行为，都会使原结构的传力途径及受力状况发生变化。功能改变造成结构问题的加固设计要恢复原结构的承载能力，同时满足新的使用功能和安全标准。

2.5 抗震与耐久性不足问题

抗震性能不够和耐久性降低属于既有混凝土结构存在的两个综合性问题,两者互相联系、互相加重。按照旧版抗震规范设计的既有结构,其构造措施不能达到现行规范的要求。结构抗震性能不但是建筑设计的基本要求,也是既有建筑鉴定和加固过程中需要不断关注的问题。耐久性上,混凝土碳化、钢筋锈蚀的不断发展造成结构抗震性能随服役时间增长而逐渐降低。研究结果表明,在一般大气环境下,钢筋混凝土构件的使用年限在 30a 以内抗震性能基本不变,超过 30a 以后抗震性能明显下降。既有建筑的鉴定要同时做安全性鉴定和抗震鉴定。抗震性能和耐久性能双重不足的既有混凝土结构,在遭遇地震等极端荷载的时候,安全风险明显增大,必须采取综合性的加固手段加以提高。

3 既有混凝土结构加固设计研究

3.1 加大截面加固设计

对于由于材料性能下降造成的截面削弱、承载能力降低,加大截面加固法是直接有效的恢复性手段。其基本原理就是在原来的构件外面增加一层钢筋混凝土,扩大截面尺寸、增加纵向钢筋、恢复构件的承载能力和抗弯刚度。对于由于混凝土碳化、钢筋锈蚀造成保护层剥落的梁板构件,在受拉侧加厚截面、增设钢筋之后,可以有效地补偿截面损失,使抗弯能力恢复到原来的水平;对于柱类构件,四周扩大截面一方面可以提高抗压承载力,另一方面也可以减小长细比、提高抗侧移稳定性。

采用该方法时,新旧混凝土界面粘结质量的好坏直接影响到加固效果是否可靠。界面处理一般包含凿毛、清洗、植筋等工序,必要时还要喷涂界面剂来保证剪力的传递以及协同变形。设计阶段应明确规定在加固施工前对结构施加的活荷载进行卸除或者大幅度降低,使原来的构件处在低应力状态,从而使得新增的部分可以充分发挥作用。由于现场浇筑及养护时间较长,截面增大后室内净空会变小,因此该方法的适用性要根据使用空间要求来综合考虑。另外在潮湿、腐蚀等不利环境里,对新增加的混凝土提出抗渗、抗碳化性能的要求,适当增大保护层厚度来延长加固结构的耐久寿命。

3.2 外包钢与粘钢加固设计

对构件承载力明显不足,又不能大幅度增大截面尺寸的构件,采用外包钢和粘钢加固可以达到较好的效果。外包型钢加固根据型钢与混凝土的连接方式分为湿式和干式两种。湿式外包钢依靠结构胶和灌浆料把型钢同原构件绑在一起,荷载作用时两者变形一致,截面刚度和承载力

能按整体截面来算,干式外包钢依靠机械连接把内力传给原构件,适合于不能使用胶粘材料的高温或者明火环境。外包钢加固不改变承载力提高幅度和刚度,适合大跨度、大荷载建筑物重要承重构件的加固。

粘钢加固是用薄钢板通过专用结构胶粘贴在构件受拉面上,施工速度快,不需要湿作业,对空间占用小。但是其承载力提高一般不超过 40%,主要用在受弯、受拉的构件上。粘钢加固的可靠性很大程度上取决于胶粘工艺水平,基层处理、胶层厚度和养护条件必须严格控制,不得在长期高温、高湿或者疲劳荷载工况下单独使用。两种方法在设计时都要保证新增钢件与原构件之间有稳定的连接,防止界面剥离,对钢材表面进行可靠的防腐、防火保护,保证加固体系在以后的服役期内具有良好的耐久性。

3.3 碳纤维复合材料加固设计

针对结构整体性缺陷问题,碳纤维复合材料(CFRP)加固法依靠自身所具有的独特材料优势而产生了高效解决办法。CFRP 由于具有高强、轻质、耐腐蚀等特点,在环氧树脂的高效传递作用下,和混凝土一起工作,可以减少裂缝的发生,提高构件的延性和承载力。经由相关试验证明,用 CFRP 加固之后构件的承载力明显提高,裂缝开展被有效推迟,结构延性和整体刚度得到改善。和粘钢加固相比,CFRP 耐腐蚀、耐潮湿、附加质量小、耐久性好、维护成本低等特点。碳纤维布可以粘贴在梁、板受拉区来提高抗弯承载力,也可以包裹在柱身上形成约束混凝土来提高延性及抗压能力。加固构造要控制承载力的提升幅度,保证裂缝、位移等适用性要求,严格选择材料并做好端部锚固等构造措施。CFRP 加固法几乎不会增加结构自重,对不允许显著增加荷载的结构整体性缺陷来说,特别合适。

3.4 预应力与增设构件加固设计

当建筑使用功能发生改变、楼面活荷载明显增大或者布局发生变化,造成原有传力路径被破坏的时候,可以采用预应力加固和增设构件加固这两种主动干预手段。体外预应力加固法是在构件上设置体外索并施加预拉力,使构件产生反向弯矩和轴力,抵消新荷载引起的内力,使原构件的应力水平保持在安全范围内,同时提高抗弯和抗剪能力。增设构件加固法则就是在结构中加入新的承重杆件、支点或者改变边界条件来重组结构受力体系,使荷载沿着新的路径传递,减轻原来构件的负担。采用该方法时,要根据现场情况选择刚性支点或者弹性支点方案,并评价其对使用空间的占用情况。两种方法都可以在不大幅度增

大原构件截面的基础上达到功能升级后的要求。

3.5 综合加固设计优化

抗震、耐久性两个方面的不足要依靠体系层面的综合加固设计来解决。首先应根据现场检测和鉴定结果来确定恢复承载力、提高抗震能力、改善耐久性的多目标,不能把它们割裂开来。当构件层次加固不能满足抗震要求的时候,应从整体出发,通过增设耗能支撑、抗震墙或者消能减震装置来调整结构的动力特性,特别要注意防止局部过度增强导致刚度突变,产生新的传力薄弱环节。耐久性上要根据结构所处的温湿度、冻融、化学侵蚀等环境作用,选择合适的材料、防护措施以及节点构造,在使用聚合物基加固材料时还要考虑其老化特性。加固后的使用年限由业主和设计方根据耐久性保证措施的充分论证来协商确定,到期后如果重新鉴定合格,可以继续使用。优化过程还要考虑施工可行性、空间占用、全寿命成本等因素,对各种技术方案进行比较选择,得出一个安全、适用、经济合理的一体化加固方案。

4 结语

既有混凝土结构的检测鉴定和加固设计是涉及面广、

综合性强的系统工程。本文从结构加固设计的基本原则入手,对既有混凝土结构在材料性能退化、构件承载力不足、结构整体性缺陷、功能改变、抗震和耐久性能不足等各方面存在的主要问题进行了系统的分析,并提出了相应的加固设计方法。既有混凝土结构加固设计要以可靠性鉴定为依托,坚持技术可靠、安全适用、经济合理的原则。在实际工程中要根据结构具体问题、使用条件和加固目的,选择单一的或者组合的加固方法。随着城市发展,既有混凝土结构检测鉴定及加固设计在保证城市建筑安全、延长结构使用寿命方面的作用将会越来越大。

[参考文献]

- [1]杨再广.高层钢筋混凝土结构鉴定与加固方案研究[J].福建建材,2025(5):64-66.
- [2]陈景新.自密实混凝土在既有钢筋混凝土结构加固工程中的应用研究[J].福建建材,2025(11):10-13.
- [3]崔建举.既有钢筋混凝土结构抗震鉴定与加固性能分析[J].砖瓦,2024(2):54-56.

作者简介:章欣(1990—),女,汉族,江西南昌人,本科,任职于南昌市建筑科学研究所有限公司。