

既有建筑改造技术 创新与实践

Innovation and Practice of Existing Building
Renovation Technology

杨学林 祝文畏 王擎忠 著

中国建筑工业出版社

既有建筑改造技术创新与实践

杨学林 祝文畏 王擎忠 著

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

既有建筑改造技术创新与实践/杨学林, 祝文畏, 王擎忠
著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2016. 12
ISBN 978-7-112-19745-3

I. ①既… II. ①杨… ②祝… ③王… III. ①建筑物-
加固 IV. ①TU746.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 210861 号

本书以既有建筑加固改造为背景, 结合典型案例, 阐述既有建筑增层 (含既有建筑地下逆作开挖增层)、倾斜纠偏、水平或竖向移位、托换加固等改造技术的最新创新成果与工程应用实践。

本书适合于既有建筑加固改造行业相关专业人员阅读参考, 也可供高校、科研机构相关专业教学、科研人员参考。

责任编辑: 刘瑞霞 武晓涛
责任设计: 李志立
责任校对: 李欣慰 姜小莲

既有建筑改造技术创新与实践

杨学林 祝文畏 王擎忠 著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 23½ 字数: 583 千字

2017 年 1 月第一版 2017 年 1 月第一次印刷

定价: 58.00 元

ISBN 978-7-112-19745-3

(29314)

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)

前 言

既有建筑加固改造技术是随着建筑业的发展而发展起来的。近年来,我国既有建筑维护、加固和改造的需求量年增长近 50%,这种需求量急剧增长的背后是我国当前巨大的既有建筑存量。据统计,我国现存的各种建(构)筑物总面积在 500 亿 m^2 以上,其中,新中国成立初期建造的大量工业与民用建筑,服役期大多已超过设计使用年限,结构存在各种安全隐患,急需进行加固改造;20 世纪 70~80 年代建设的城市老旧房屋,有的与当前日益完善的城市功能和居住需求不相适应,需要通过增层、扩面并结合建筑节能改造、抗震加固等手段,提升其使用功能和品质。同时,随着新型城市化建设的不断推进,中心城区商业开发、市政基础设施和大型综合体建设与既有建(构)筑物使用、历史古建筑保护之间的矛盾,需要运用平移、托换、顶升、增层、纠倾等多种特种技术手段加以综合改造和利用。从国际经验看,建筑业发展通常会经历以下三个阶段:大规模新建阶段、新建与既有建筑改造并重阶段、既有建筑改造为主的阶段。欧美等发达国家从 20 世纪 60 年代开始就进入大规模加固改造阶段,目前已处于第三阶段。我国建筑业发展当前正面临转型升级,并将逐步进入新建与既有建筑改造并重的新常态。

既有建筑改造具有投入小、产出大、低碳环保、节能减排、新技术和新材料应用广泛等特点,符合国家可持续发展战略,对我国经济和社会发展具有重要意义和影响。因此,既有建筑加固改造技术将面临新的、更大的机遇和挑战。

本书以既有建筑加固改造为背景,结合典型案例,阐述既有建筑增层(含既有建筑地下逆作开挖增层)、倾斜纠偏、水平或竖向移位、托换加固等改造技术的最新创新成果与工程应用实践。

全书共 11 章。第 1 章简要介绍既有建筑纠倾、增层、移位、托换加固等改造技术的基本概况及国内外发展现状,提出既有建筑改造后的设计使用年限确定和参数取值的相关建议,分析承重构件托换引起的结构内力变化,阐述既有建筑地下逆作开挖增层的关键技术。

第 2 章介绍某 16 层高层宾馆建筑因不均匀沉降导致倾斜,采用顶升纠偏方法进行纠倾扶正的工程案例,顶升前需临时截断底层所有剪力墙墙肢,纠倾过程中需采取可靠的限位稳定措施,技术难度大,全国可借鉴的成功案例很少,设计和施工过程中应用了许多创新技术。

第 3 章介绍杭州天工艺苑由 5 层加层至 12 层的增层工程案例,增层前为多层建筑,增层后为高层建筑,且属于复杂超限高层建筑。增层设计中较好解决了上部钢结构、下部混凝土结构构成的组合高层结构的地震作用计算、结构阻尼取值,以及如何确保上下部连接可靠等关键问题。

第 4 章介绍既有高层建筑地下逆作开挖增建地下停车库的工程案例。该案例在全国尚属首次,没有可借鉴的成功案例和经验,设计采用了多项创新技术,经过多次技术论证最终得以通过。

第5章介绍杭州甘水巷3号组团既有多层建筑下方增建地下室的案例。该建筑原为天然浅基础，增建地下室前，采用锚杆静压钢管桩作为新增地下室逆作开挖施工阶段的竖向支承体系。

第6章介绍杭州京江桥·东辅道桥平移工程，该桥3跨长93m、重1100t，主跨53m。采用同步顶升和平移技术，使钢梁桥整体平移约5.5m。

第7章介绍杭州汇和商城屋面整体顶升工程。该案例的特点是大跨度屋面结构整体同步顶升，并结合内部拔柱改造。

第8章介绍某25层框架—剪力墙结构高层住宅承重构件整层置换的工程案例。该高层住宅在主体结构施工封顶后发现第17层的竖向和水平承重构件混凝土强度均未达到设计要求，利用托换技术对该层剪力墙、柱、梁板、电梯井、楼梯间等承重构件实施了整体置换。

第9章介绍某34层高层建筑因不均匀沉降导致倾斜和底板挠曲，采用桩侧土地基应力解除法进行纠倾的案例。纠倾过程合理调整控沉桩的施工流程，通过临时持荷与卸载的方式调节控沉桩的受力状态，实现对纠倾过程的动态控制。

第10章介绍深厚人工块石填土地基基础托换控沉工程的案例，重点阐述托换桩如何穿越大面积填海地基深厚人工块石填土层（局部块石填层超过12m）的技术措施。

第11章介绍利用耗能减震技术对高烈度设防区的既有建筑结构进行增层改造的工程案例。

上述工程案例均具有较好的代表性，充分反映了现阶段既有建筑改造技术的创新成果与工程实践。书中各工程案例对改造方案思路、关键技术、分析计算、现场实施和监测等关键环节和细节问题进行了详细阐述，对同类工程具有较强的借鉴作用。

杭州圣基建筑特种工程有限公司和浙江省建筑设计研究院为书中引用的工程案例提供了大量资料，杭州天工艺苑增层改造项目业主方刘伟群先生和设计方负责人曹立勇院长，杭州甘水巷3号组团增建地下室工程的承建单位杭州岩土科技股份有限公司潘金龙总经理、杜晓飞高工等也为本书提供了部分宝贵资料，作者单位同事张林波、蔡凤生、周平槐、徐根富等为本书出版给予了大力帮助，在此一并向上述同行专家和相关单位表示衷心感谢。同时，感谢中国建筑工业出版社为本书出版给予的大力支持。

由于作者工程经历和学术水平所限，书中疏漏和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

作者

2016年6月于杭州

目 录

第 1 章 既有建筑改造技术概述	1
1.1 既有建筑改造技术的背景	1
1.1.1 既有建筑改造技术发展现状	1
1.1.2 既有建筑改造中的加固原则和方法	2
1.1.3 消能减震技术在既有建筑改造中的应用	4
1.2 既有建筑纠倾技术	4
1.2.1 既有建筑纠倾技术发展现状	4
1.2.2 建筑纠倾方法	6
1.3 既有建筑增层技术	9
1.3.1 既有建筑增层技术的意义及发展现状	9
1.3.2 建筑增层技术的方法分类	11
1.3.3 增层建筑的地基与基础	12
1.3.4 增层结构非比例阻尼地震反应分析	14
1.4 既有建筑物移位技术	17
1.4.1 既有建筑物移位技术的意义与发展现状	17
1.4.2 建筑物移位分类	20
1.5 既有建筑托换技术	20
1.5.1 既有建筑托换技术发展现状	20
1.5.2 建筑托换技术的分类	22
1.6 改造建筑后续使用年限的确定与相关设计参数取值	24
1.6.1 改造建筑后续使用年限的确定	24
1.6.2 不同使用年限对应的地震作用计算	27
1.6.3 不同设计使用年限对应的抗震构造措施	27
1.6.4 不同设计使用年限对应的楼面活荷载以及风压、雪压的合理取值	29
1.7 承重构件托换过程引起的结构内力变化分析	30
1.7.1 移位过程中约束释放引起的结构内力调整分析	30
1.7.2 移位过程顶升差异对结构的内力影响分析	36
1.8 既有建筑地下逆作开挖增建地下空间关键技术	40
1.8.1 既有建筑增建地下空间的工程意义	40
1.8.2 工艺原理及需解决的关键技术	43
1.8.3 竖向支承体系(基础托换系统)设计计算	46
1.8.4 新增基础底板及地下室墙、柱设计	51
1.8.5 基坑支护和土方开挖施工	52
参考文献	53

第 2 章 秦山核电国光宾馆控沉与顶升纠倾	55
2.1 工程概况	55
2.1.1 既有建筑结构体系及主体倾斜概况	55
2.1.2 工程地质概况	57
2.2 结构不均匀沉降原因分析	59
2.3 基础控沉设计	60
2.4 建筑物纠倾设计	63
2.4.1 纠倾方案比选	63
2.4.2 顶升纠偏量计算	66
2.4.3 顶升千斤顶布置方案设计	68
2.4.4 顶升阶段托换节点设计	71
2.5 顶升工况下上部结构整体分析	77
2.6 顶升阶段上部结构的限位设计	78
2.6.1 侧向限位装置设计	78
2.6.2 抗倾覆设计	81
2.7 框支转换部位的临时加强措施	83
2.8 PLC 协调纠偏顶升控制与施工	85
2.8.1 施工流程设计	85
2.8.2 顶升前期准备工作	85
2.8.3 工程称重	85
2.8.4 工程试顶升	87
2.8.5 顶升过程控制与误差累积消除	87
2.8.6 墙、柱恢复连接	88
2.9 纠倾成果	89
参考文献	89
第 3 章 杭州天工艺苑增层工程	90
3.1 工程概况	90
3.1.1 既有建筑上部结构体系及布置概况	90
3.1.2 工程地质条件及既有建筑地基基础设计概况	91
3.2 工程实施需解决的技术难点	94
3.3 基础托换加固设计	96
3.4 原板柱结构加固设计	99
3.4.1 柱加固	99
3.4.2 剪力墙加固	101
3.4.3 框架梁加固	102
3.4.4 柱托板加固	103
3.5 新增结构设计	104
3.6 新增结构与原结构的连接设计	105
3.7 新旧体系不同阻尼比的混合结构抗震设计	110

3.8	子结构拟动力试验	119
3.8.1	地震模拟振动台试验的缺陷	119
3.8.2	子结构拟动力试验	119
3.8.3	模型设计	120
3.8.4	试验加载	122
3.8.5	试验结果及分析	124
3.8.6	试验结论	131
	参考文献	132
第4章	某既有高层建筑下方逆作开挖增建地下停车库工程	133
4.1	工程概况	133
4.1.1	既有建筑上部结构体系及布置概况	133
4.1.2	工程地质条件及既有建筑地基基础设计概况	135
4.1.3	既有建筑下方增建地下二层概况	136
4.2	项目实施难点及需解决的关键技术	138
4.3	作业流程及典型工况设计	141
4.4	基坑围护结构设计	148
4.4.1	基坑围护特点	148
4.4.2	基坑围护设计方案及施工要求	148
4.4.3	进一步控制基坑变形的措施	149
4.5	竖向支承体系(基础托换系统)设计	150
4.5.1	原有工程桩质量情况分析	150
4.5.2	新增锚杆静压钢管桩设计	151
4.5.3	桩间临时水平钢支撑设计	151
4.5.4	高承台桩压曲稳定分析	154
4.5.5	深厚软土地基深开挖对既有桩基承载力的影响	155
4.5.6	基坑侧向变形对桩基承载力的影响分析	156
4.6	新增地下二层墙、柱托换设计	158
4.6.1	“一柱一桩”的柱托换	158
4.6.2	“一柱二桩”的柱托换	159
4.6.3	地下二层外墙托换设计	160
4.6.4	地下二层核心筒剪力墙托换设计	161
4.6.5	承台与原工程桩及钢管桩之间的连接构造设计	165
4.7	监测方案及要求	167
4.7.1	基坑围护监测	167
4.7.2	主体结构监测	167
第5章	某既有多层浅基建筑逆作开挖增建地下室工程	169
5.1	工程概况	169
5.2	工程地质和水文地质条件	171
5.3	竖向支承结构体系设计	172

5.4	周边围护结构设计	176
5.5	增建地下室的作业流程及典型工况设计	178
5.6	监测方案及要求	180
5.6.1	基坑围护监测	180
5.6.2	主体结构监测	181
第6章	杭州京江桥·东辅道桥平移工程	182
6.1	项目概况	182
6.2	本工程技术难点	184
6.3	平移流程(典型工况)设计	185
6.4	平移托换桁架设计计算	187
6.5	顶推系统设计	191
6.5.1	顶推钢牛腿及配套设备设计	192
6.5.2	移位方式比选以及推力设计	193
6.5.3	水平推力作用下桥墩稳定验算	195
6.6	桥梁不均匀移位内力分析	195
6.7	同步移位控制与施工	199
6.8	现场监测	209
6.8.1	托换桁架加载试验监测	209
6.8.2	平移监测	211
6.8.3	同步落梁监测	212
	参考文献	217
第7章	杭州汇和商城屋面整体顶升和拔柱改造工程	218
7.1	工程概况	218
7.2	工程实施的技术难点	220
7.3	屋面结构整体顶升设计	221
7.3.1	顶升流程设计	221
7.3.2	顶升装置设计	221
7.3.3	跟随装置设计	222
7.4	顶升阶段屋面结构侧向稳定控制措施	223
7.5	屋面结构整体顶升工况内力复核	226
7.6	拔柱改造设计	228
7.6.1	拔柱改造流程工况	228
7.6.2	拔柱前后内力分析	231
7.6.3	拔柱后屋面大跨度框架梁的加固设计	232
7.7	楼板的开洞与封闭	239
7.7.1	楼板封闭	239
7.7.2	楼板开洞施工	239
7.8	施工与监测	240
7.8.1	千斤顶选型与布置	240

7.8.2	PLC 同步顶升控制	242
7.8.3	框架柱截断和就位连接	243
7.8.4	工程监测	244
	参考文献	245
第 8 章	浙江某高层住宅建筑承重构件整层置换工程	246
8.1	工程概况	246
8.2	工程实施的技术难点	247
8.3	竖向托换系统和置换流程	248
8.3.1	竖向托换系统设计	248
8.3.2	托换节点验算	249
8.3.3	托换支撑计算	254
8.3.4	置换流程设计	255
8.3.5	置换过程结构内力分析	255
8.4	水平抗侧支撑体系设计	260
8.5	施工措施	262
8.6	监测	269
8.6.1	监测内容	269
8.6.2	监测结果分析	269
	参考文献	273
第 9 章	某 34 层高层建筑基础控沉与地基应力解除法纠倾	274
9.1	工程概况	274
9.1.1	既有建筑结构体系及主体倾斜概况	274
9.1.2	工程地质条件	277
9.2	结构不均匀沉降原因分析	278
9.3	工程实施的难点	279
9.4	基础控沉和纠倾流程设计	280
9.5	基础承载力补强与控沉设计	281
9.5.1	控沉桩设计	282
9.5.2	控沉桩孔口加固设计	282
9.5.3	控沉桩预加载持荷封桩设计	284
9.6	纠倾设计	285
9.6.1	纠倾的目标和原理	286
9.6.2	迫降纠倾流程设计	286
9.6.3	应力解除孔布置及掏土工艺设计	287
9.6.4	纠倾过程的外挑筏板稳定加强设计	288
9.7	结构加固设计	292
9.7.1	筏板冲切破坏区域与载荷试验压桩孔加固	293
9.7.2	筏板叠浇加固	294
9.7.3	地下室剪力墙加固	295

9.7.4 相邻地下车库加固	295
9.8 控沉与纠倾协同施工	297
9.9 现场监测及控沉、纠倾监测成果分析	306
9.9.1 监测内容与频率	306
9.9.2 控沉、纠倾监测成果分析	306
参考文献	310
第 10 章 深厚人工块石填海地基基础托换控沉工程	311
10.1 工程概况	311
10.1.1 不均匀沉降和倾斜情况描述	311
10.1.2 工程地质和水文地质条件	314
10.1.3 结构倾斜及不均匀沉降原因分析	317
10.2 工程实施的技术难点	318
10.3 沉降控制设计	318
10.3.1 应急控沉止倾设计	319
10.3.2 基础补桩托换控沉设计	320
10.3.3 地下室加固设计	320
10.4 施工流程设计	325
10.5 深厚块石塘渣层灌注桩施工与托换	325
10.6 现场监测与控沉效果分析	329
第 11 章 昆明螺蛳湾国际商贸城耗能减震增层	332
11.1 工程概况	332
11.2 工程实施的难点	336
11.3 结构增层的消能减震设计	337
11.3.1 增层结构消能减震设计流程	337
11.3.2 消能减震设计目标确定	337
11.3.3 附加阻尼比确定以及减震前后整体参数分析	338
11.3.4 耗能减震装置的设计与布置	340
11.4 消能减震效果分析	345
11.4.1 多遇地震作用下消能减震结构弹性分析	345
11.4.2 罕遇地震作用下消能减震结构弹塑性分析	355
11.5 减震装置深化设计	361
11.5.1 减震装置连接设计	361
11.5.2 阻尼器支撑刚度验算及强度校核	361
参考文献	364

第 1 章 既有建筑改造技术概述

1.1 既有建筑改造技术的背景

1.1.1 既有建筑改造技术发展现状

随着人类社会的不断进步，人们对建筑物的安全性能、使用功能等各方面提出了越来越高的要求，然而，建筑物由于材料自然老化、累积损伤、环境侵蚀、自然灾害以及施工质量等原因又不可避免地出现大量的问题，因此，许多既有建筑物都面临着改造与加固问题。

国外建筑工程的发展过程表明，当工程建设进行到一定阶段后，工程结构的改造维修将成为主要的建设方式。迄今为止，世界上经济发达国家的工程建设大体经历了大规模新建、新建与维修改造并重以及既有建筑维修改造三个发展阶段^[1]。20 世纪 70 年代末以来，经济发达国家就已先后进入第三阶段，而且维修改造工程量仍处于上升趋势。在基本解决居住问题之后，人们逐渐重视旧建筑的修缮保养和更新改造，加拿大、日本、丹麦等国逐步将重点放在对既有房屋的现代化改造方面，制定了一整套系统完备的涵盖了维修改造业方方面面的政策和法规，美国也已把改造旧建筑和建造新建筑列于同等重要的位置。从 20 世纪 70 年代开始，英国把旧住宅维修改造作为住宅发展计划的重心，改变了大规模拆旧建新的住宅建设模式，转为保护性维修改造和内部设施现代化。瑞典的建筑业 80 年代就将既有建筑物的改造列为首要任务，1983 年用于维修改造的投资占总投资的 50%，1988 年旧房维修改造工程占 42%。至 80 年代，欧洲各国的建筑日常维修资金投入年递增 6%~10%，其中，旧住宅维修改造总额占住宅建设总额的 1/3~1/2^[2]，建筑维修改造市场开始进入了全盛时期。至 2004 年，美国建筑加固改造的工程规模占建筑业总产值的 1/3 以上，英国建筑加固改造的工程规模占建筑业总产值的 50% 以上^[3]。

改革开放以来，随着国民经济的快速发展，居民的生活条件及居住环境得到极大改善和提高。然而，早期建设的城市老旧房屋与日益完善的城市功能和居住需求不相适应，已成为我国当前城市化进程中需要改进和加强的薄弱环节，这些房屋大部分为多层建筑，其结构承载力尚有一定潜力，如果将这批建筑全部拆掉并重新规划建设，将造成极大的社会问题和资源浪费，此类建筑急需进行改造以提升使用功能和品质。同时，我国现有一大批 20 世纪 50~60 年代建造的老房屋因超过了设计基准期而有待加固，全国又有较多的建筑安全储备不足，部分住宅结构逐渐进入老龄化，同样需要进行加固改造。我国的工程结构特别是既有建筑物因为特殊的历史和发展方式，在许多方面更需要进行加固改造。此外，随着城市化进程的不断发 展，城市土地资源日益稀缺，合理开发和利用城市既有建筑地下室以下空间，在周边建筑密集、市政道路及管线设施众多的城市核心区进行地下增层具有

十分显著的经济效益。

据统计,我国目前既有建筑面积达500多亿 m^2 ,同时每年新建16亿~20亿 m^2 ,城市化进程不断加快。由于地震、台风、火灾等灾害的影响以及规划、勘察、设计、施工和使用等方面的问题,建筑损伤、破坏、倾斜等问题不断出现。同时,为了适应人口增长和经济的发展,解决城市发展与古建筑保护、市政建设以及中心区域商业开发与既有建筑使用等之间的矛盾,均需要运用纠倾、移位、托换、增层等建筑特种工程技术予以解决。

1.1.2 既有建筑改造中的加固原则和方法

采用纠倾、移位、托换以及增层等技术对建筑物进行改造过程中,原结构的功能、荷载、传力途径往往发生变化,因而需要对结构进行加固。结构加固是为了提高或恢复建筑结构降低的或已丧失的可靠性,其主要包括如下内容:提高结构构件承载力、增加结构构件刚度以降低荷载作用下的变形及位移、增强构件稳定性以及降低结构裂缝开展并改善其耐久性。建筑物改造过程中,应尽量利用和保护原有结构,控制加固范围,避免不必要的更换及拆除,以免加固过程中导致结构受损加剧及新问题的出现,此外,还应遵循如下原则进行加固:

(1) 建筑结构的加固设计应由相关资质的专业机构实施,加固前做好建筑物结构安全性鉴定和抗震性能鉴定。建筑结构是否需要加固,应经结构可靠性鉴定而定,并将鉴定意见书作为结构维修加固改造设计的依据之一。由于建筑结构加固设计所面临的不确定因素比新建工程多而复杂,因此,承担维修加固改造设计的人员除具有较强的结构理论、明晰的结构概念外,还应具备较为丰富的工程经验才能够全面系统地分析问题,提出较为合理的结构加固设计方案。

(2) 加固改造应结合既有建筑的实际情况,按照安全合理、经济可行的原则进行加固设计。加固改造的实施必须有科学的先后顺序,一般而言,应先加固后拆除;先加固后开洞;先基础后柱、梁和板;先重要构件,后次要构件。

(3) 加固改造设计应遵循先整体后局部的原则,处理好构件与结构、局部与整体关系。当个别构件加固不影响整体结构体系的受力性能时,可进行局部加固;结构整体不满足要求时,应对结构进行整体加固。加固过程中应首先考虑结构整体承载性能的改善,重点处理重要的结构构件,结构加固应避免因局部加强或刚度突变而形成新的薄弱部位,同时还应考虑结构刚度增大或变化而导致地震作用效应增大或变化的影响。进行抗震加固设计时,结构的刚度和强度的分布要均匀,避免出现新的薄弱层;要使结构的受力状态更加合理,防止构件发生脆性破坏,消除不利于抗震的强梁弱柱、强构件弱节点等不良受力状态;此外还应针对薄弱部位的抗震构造进行加强。

(4) 加固过程应确保新、旧构件具有可靠的连接承载力,避免在连接节点以及新、旧结构交界面发生破坏。

(5) 加固方法应消除加固结构的应力、应变滞后现象。加固结构的受力性能与新建结构不同,其新加部分往往不能立即承担荷载,而是在新增荷载下才开始受力,新加部分的应力、应变滞后于原结构。因此,结构加固前一般宜先卸载或部分卸载。

(6) 所选的加固形式应具有可靠的耐久性,避免加固后的结构因耐久性问题在后续使用过程中产生破坏。对加固结构所用化学灌浆材料及胶粘剂,要求粘结强度高,可灌性好

收缩性小,耐老化,无毒或低毒。

7. 对加固工作中可能会出现结构倾斜、失稳、坍塌以及过大变形等问题,加固设计中应有相应的安全措施以确保工程安全。

建筑物改造过程中往往需要对结构进行加固,常用的混凝土结构加固的主要方法有增大截面加固法、置换混凝土加固法、外加预应力加固法、外粘型钢加固法、粘贴纤维复合材加固法、粘贴钢板加固法、增设支点加固法等^[4]。

1. 增大截面加固法

增大截面加固法是指在现有混凝土构件外加钢筋混凝土,增大原构件截面面积,以提高其承载力和刚度的加固方法。该法适用于承载力或刚度不足引起的受弯、受压构件的加固。

2. 置换加固法

置换加固法是指用高强度等级的混凝土置换原结构中受压区强度偏低或局部有严重缺陷的混凝土的一种加固方法。该法适用于承重构件受压区混凝土强度偏低或严重缺陷的局部加固。

3. 外加预应力加固法

外加预应力加固法是指通过施加体外预应力,使原结构、构件的受力得到改善或调整的一种间接加固法。用预应力钢筋在构件外进行张拉,可以增加主筋,提高正截面及斜截面强度,该法具有加固、卸载、改变结构内力的多重效果,适用大跨结构加固。

4. 外粘型钢加固法

外粘型钢加固法是指对钢筋混凝土梁、柱外包型钢、扁钢焊成构架并灌注结构胶粘剂,以达到整体受力、共同约束原构件要求的加固方法。该法适用于截面受到限制而无法大幅度提高截面承载力和抗震能力的钢筋混凝土梁、柱结构的加固。

5. 粘贴纤维复合材加固法

粘贴纤维复合材加固法是指通过粘贴碳纤维、玻璃纤维等纤维复合材料对钢筋混凝土受弯、受拉以及大偏心受压构件等进行的加固方法。粘贴前纤维复合材表面应进行防护处理,且基材混凝土强度不低于 C15,处于高温(高于 60℃)或特殊环境时,宜选用无机胶粘剂以提高耐久性。

6. 粘贴钢板加固法

粘贴钢板加固法是指在钢筋混凝土受弯、大偏心受压和受拉构件的表面粘贴钢板进行加固的方法。与粘贴纤维复合材加固法类似,其基材混凝土强度不低于 C15,处于高温或特殊环境时,宜采用无机胶粘剂。

7. 增设支点加固法

增设支点加固法是指通过增设支点以减小被加固结构、构件的跨度或位移,以改变结构不利受力状态的一种间接加固方法。该法适用于对外观和使用功能要求不高的梁、板、桁架、网架等的加固。其支点根据支承结构、构件受力变形性能的不同,可分为刚性支点加固法和弹性支点加固法。刚性支点法是通过支承结构的轴心受压或轴心受拉将荷载直接传给基础或柱子进行加固的方法;弹性支点法是以支承结构的受弯或桁架作用间接传递荷载进行加固的方法。

此外,绕丝加固、粘贴钢筋加固、聚合物浸渍混凝土加固、钢丝网片和聚合物砂浆面

层加固等方法也出现在混凝土结构加固中。

1.1.3 消能减震技术在既有建筑改造中的应用

在抗震设防区,结构进行加层或者较大幅度的功能改造后,原结构的承载能力往往无法满足要求,部分地区抗震设防烈度的提升,也给结构加固改造带来了很大的困难。

传统结构抗震加固主要是通过改变结构体系、增设剪力墙、加大结构构件截面尺寸或者增加配筋等途径来提高结构的抗震能力,特别是在高烈度区,这将导致结构改造费用大幅度提高,并对使用功能造成一定的影响。

采用隔震技术或消能减振技术可通过柔性消能的方式较大幅度地降低结构的地震反应,主体结构和消能装置分工明确,主体结构的承重构件负责承受竖向荷载和侧向地震作用,消能装置则为结构提供较大阻尼,以减小地震作用并耗散输入结构的地震能量。结构在小震或风载作用下,消能装置与原结构处于弹性工作状态,结构的刚度、强度和舒适度均满足正常使用要求;在强震或强风作用下,消能装置则进入非弹性状态,从而产生较大的阻尼并吸收和耗散大量的地震能量,使主体结构的动力反应减小,达到减震目的^[5]。

传统加固方法用结构本身的抗侧性能来抵御地震作用,是通过材料的强度与构件的弹塑性变形能力来耗散和吸收地震输入结构的能量。通过在既有建筑物的抗侧力体系中设置消能部件后,结构构件截面以强度控制为主,不但可以减小地震作用和耗散地震输入结构的量,从而提高结构的抗震性能,还可以大大减小构件截面尺寸,降低含钢量,并有效节约经费和缩短工期。据统计,消能减震体系可比传统加固方法节约造价10%~50%^[6,7]。此外,消能减震技术具有构造简单、自重轻以及加固效果可靠的特点,在既有建筑的抗震改造加固中具有广泛前景。

1.2 既有建筑纠倾技术

在生产和生活中,人们建造了大量的建筑物和构筑物。近年来,随着国民经济的迅速发展和城市化进程的加快,高层建筑也不断涌现。但由于勘察、设计以及施工等种种原因,一些建(构)筑物在建设或者使用过程中发生了不均匀沉降,甚至倾斜,如著名的意大利比萨斜塔、苏州虎丘塔等。建筑物倾斜后,轻者影响正常使用,严重时会使结构破坏或产生整体失稳破坏。此外,全国部分地区甚至出现了个别高层建筑因严重倾斜而拆除的案例。伴随着建筑倾斜病害的出现,建筑物纠倾技术得以逐步发展,通过纠倾可以用较小的经济代价确保建筑物安全并恢复其使用功能。因此,建筑物纠倾技术的研究具有重要的工程意义。

1.2.1 既有建筑纠倾技术发展现状

建筑物纠倾技术最早出现在国外,较为典型的是加拿大的特朗斯康谷仓纠倾工程和比萨斜塔纠倾工程。特朗斯康谷仓建于1913年,长59m,宽23m,高31m,由65个圆形筒仓组成,采用筏板基础,基础下分布约16m厚的软黏土。在装载谷物过程中,因地基强度破坏,谷仓发生整体滑移失稳,西侧下陷达8.8m,东侧则抬高了1.5m,仓身倾斜约

27°，详见图 1.2.1。事故发生后，在基础下设置了 70 多个支承于埋深 16m 基岩上的混凝土墩，通过千斤顶顶升，成功将谷仓纠倾，但整体标高降低了约 4m。

比萨斜塔始建于 1173 年，建设过程前后经历近 200 年，塔高 56m，塔楼为中空圆柱形砌体结构。由于不均匀沉降，塔顶最大水平偏移量曾达到 5.27m，详见图 1.2.2。关于比萨斜塔倾斜的原因，学术界一直存在争议，近来较为一致的观点是认为塔体发生了平衡失稳^[8]，由于对地质构造缺乏全面、缜密的调查和勘测，塔基下地基土对塔基产生的力矩无法抵抗倾斜所产生的倾覆力矩导致塔身逐渐向南倾斜。

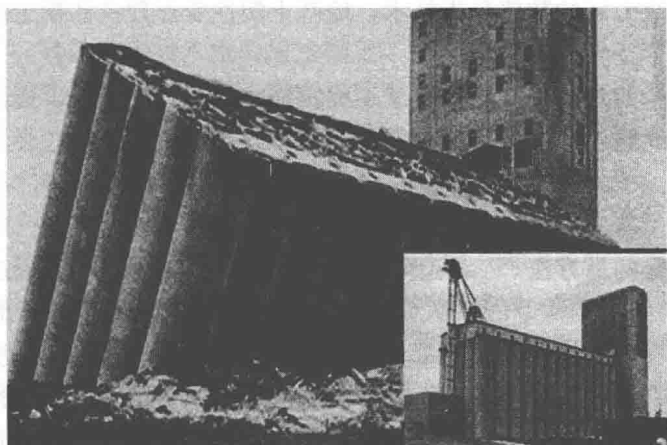


图 1.2.1 特朗斯康谷仓倾斜图



图 1.2.2 比萨斜塔倾斜图

自 1934 年以来，为治理比萨斜塔，意大利政府采用了基础注射水泥浆、北侧地表加载、电渗固结等一系列方法进行比选和加固。经过长时间的论证和试验，最终采用斜孔掏土法（图 1.2.3），于 2001 年使比萨斜塔顶部向北回倾了 440mm，塔身的倾斜度由 5.5°减小到 5°，从而保证了比萨斜塔的稳定和安全。

20 世纪 90 年代前，我国的建筑物纠倾技术处于探索阶段，部分学者和工程技术人员进行了一些理论研究和大规模的纠倾实践。近年来，随着城市建设的不断发展，高层建筑

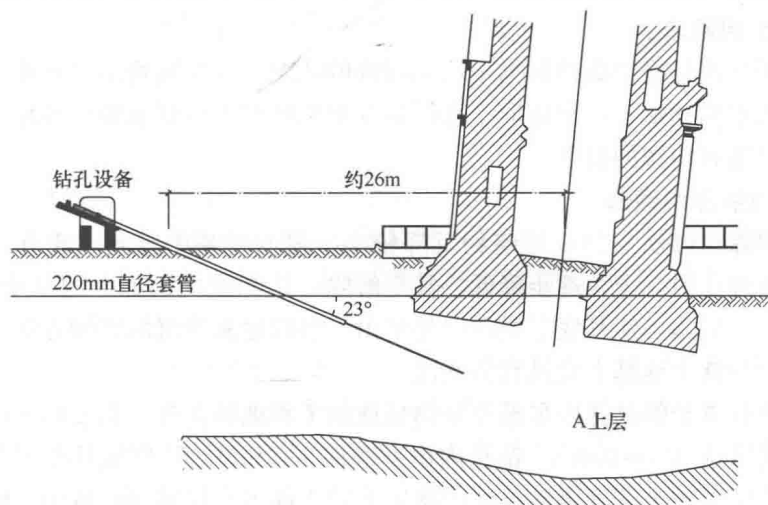


图 1.2.3 比萨斜塔掏土纠倾示意图

大量出现,由于规划、勘察、设计、施工以及自然灾害等各方面原因,倾斜建筑物大量出现,纠倾技术的发展和研究逐渐受到人们的重视。我国的纠倾技术虽起步较晚,但经过近20年的应用和发展,涌现出许多新工艺、新方法和新技术,如在意大利工程师 Terracina 针对比萨斜塔的倾斜恶化问题而提出的“地下抽土法”的基础上,刘祖德教授首创了“地基应力解除法”的纠倾方法;唐业清教授发明了辐射井射水取土纠倾法;阮慰文等开发了建筑物顶升纠倾技术等。我国的专家学者在实践的基础上,不断对建筑物纠倾和加固理论进行研究、总结,使建筑物纠倾这门学科逐渐由实践上升到理论,再由理论进一步指导实践。其中,水平孔洞条件下地基土应力场的数值分析技术,地基土塑性变形理论在掏土纠倾中的应用技术等均对纠倾实践起了指导作用。

总体而言,目前建筑物纠倾技术的理论研究仍落后于工程实践,加强理论研究、提高计算机数值分析水平、完善建筑物纠倾设计理论与计算方法,是十分必要的。

1.2.2 建筑纠倾方法

建筑物纠倾主要分为迫降和抬升两类方法^[9,10],迫降纠倾法是基于土力学原理,通过

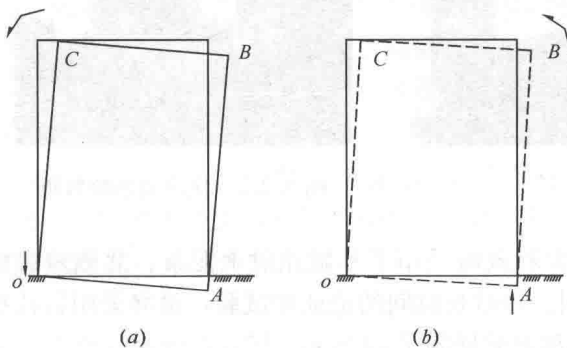


图 1.2.4 纠倾示意图
(a) 迫降法; (b) 抬升法

加大沉降较小一侧的地基变形来纠倾(图 1.2.4a),常见的迫降纠倾法包括浅层掏土法、地基应力解除法、浸水法、降水法、加压法、桩基卸载法等;抬升纠倾法是通过直接改变上部结构的受力、位移或位移趋势来达到纠倾目的(图 1.2.4b),常见的抬升纠倾法包括结构抬升法和地基注入膨胀剂的地基抬升法等。在实际工程中,需要根据建筑物、场地地质条件以及周围环境特点选用适宜的纠倾方法,有时候甚至需要多

种纠倾方法联合使用。

1. 浅层掏土纠倾法

浅层掏土纠倾法是指根据建筑物不均匀沉降的状况,在建筑物沉降较小一侧基底下浅部硬土层内,水平钻孔掏土,利用取土孔压扁变形和孔壁土体局部发生破坏使建筑物产生相应的沉降,以达到纠倾的目的。

2. 地基应力解除纠倾法

地基应力解除纠倾法通过在建筑物沉降较小一侧的地基中竖向(或有一定倾角)钻孔,有次序地清理孔内泥土,逐步降低、甚至解除一定深度内的部分地基土的侧向应力,造成地基侧向应力解除,使基底下淤泥向外挤出,引起地基下沉的纠倾方法。该法适用于建造在厚度较大的软土地基上建筑物的纠倾。

钻孔的布置和直径的选择应根据建筑物场地的工程地质条件、掏土的次序、纠倾量等确定,孔径一般可选 0.4~0.6m。钻孔内由基底向下 3~5m 深度范围内宜设置钻孔的套管,套管长度应根据掏土深度确定以保护基底下的土体不直接向侧向流动。施工时要根据建筑物回倾速率,有计划地取出套管下挤入钻孔的淤泥,促使地基沉降,建筑物回倾。