

SIMPLIFIED SERIES OF
CIVIL ENGINEERING

清華

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

张鑫 贾留东 魏焕卫 夏风敏 编著

简明土木工程系列专辑

建筑物平移与纠倾技术



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



知识产权出版社
www.cnipr.com



Simplified Series of Civil Engineering

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

张鑫 贾留东 魏焕卫 夏风敏 编著

简明土木工程系列专辑

建筑物平移与纠倾技术

中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

知识产权出版社

www.cnipr.com



内容提要

随着我国社会经济的快速发展,在进行新建建筑工程的同时,建筑物加固与改造领域也取得了长足的发展。本书将作者多年从事建筑物平移和纠倾方面的研究成果和工程经验进行总结,供大家参考。

本书分为平移技术和纠倾技术两篇。平移技术篇综述了国内外建筑物平移技术的进展,重点论述了建筑物平移工程的设计方法和施工要求、建筑物平移工程的控制系统和平移设备,介绍了若干建筑物平移的工程实例。纠倾技术篇综述了国内外建(构)筑物纠倾技术的发展概况,论述了建筑物主要纠倾方法的设计和施工方法,介绍了典型的纠倾工程实例。

本书可作为高等院校土木工程专业高年级本科生、研究生的教学用书,也可供相关专业的科研和工程技术人员参考。

策划编辑:阳 森 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip. sina. com; z_baolin@263. net

责任编辑:阳 森 张宝林

文字编辑:董拯民

图书在版编目(CIP)数据

建筑物平移与纠倾技术/张鑫等编著. —北京:中国水利水电出版社:知识产权出版社,2008

(简明土木工程系列专辑/崔京浩主编)

ISBN 978-7-5084-5376-7

I. 建… II. 张… III. ①建筑物—整体搬迁②建筑物—加固 IV. TU746

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 035673 号

简明土木工程系列专辑

建筑物平移与纠倾技术

张鑫 贾留东 魏焕卫 夏凤敏 编著

中国水利水电出版社 出版发行 (北京市西城区三里河路6号; 电话: 010-68331835 68357319)
知识产权出版社 北京市海淀区马甸南村1号; 电话: 010-82005070

北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经销

北京市兴怀印刷厂印刷

850mm×1168mm 32开 8.5印张 228千字

2008年4月第1版 2008年4月第1次印刷

印数: 0001—4000册

定价: 22.00元

ISBN 978-7-5084-5376-7

版权所有 侵权必究

如有印装质量问题,可寄中国水利水电出版社营销中心调换

(邮政编码 100044, 电子邮件: sales@waterpub. com. cn)

清华大学土木工程系组编

简明土木工程系列专辑

编 委 会

名誉主编 陈肇元 袁 驷

主 编 崔京浩

副 主 编 石永久 宋二祥

编 委 (按汉语拼音排序)

陈永灿 胡和平 金 峰 李庆斌

刘洪玉 钱稼茹 王志浩 王忠静

武晓峰 辛克贵 阳 森 杨 强

余锡平 张建民 张建平

编 辑 办 公 室

主 任 阳 森

成 员 张宝林 彭天赦 张 冰 邹艳芳

总序

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程（Civil Engineering）是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术”。土木工程是一个专业覆盖面极广的一级学科。

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程（Military Engineering）而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，地下防护工程、航天发射塔架等设施也都属于土木工程的范畴。

土木工程是国家的基础产业和支柱产业，是开发和吸纳我国劳动力资源的一个重要平台，由于它投入大、带动的行业多，对国民经济的消长具有举足轻重的作用。改革开放后，我国国民经济持续高涨，土建行业的贡献率达到 1/3；近年来，我国固定资产的投入接近甚至超过 GDP 总量的 50%，其中绝大多数都与土建行业有关。随着城市化的发展，这一趋势还将继续呈现增长的势头。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生得更早，其发展及演变历史更为古老。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，甚至可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，呈现出勃勃生机。其中工程材料的变革和力学理论的发展起

着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖瓦灰砂石，而是由新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法武装起来的为众多领域和行业不可或缺的大型综合性学科，一个古老而又年轻的学科。

综上所述，土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编写一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明系列专辑”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

清华大学土木工程系是清华大学建校后成立最早的科系之一，历史悠久，实力也比较雄厚，有较强的社会影响和较广泛的社会联系，组编一套“简明土木工程系列专辑”，既是应尽的责任也是一份贡献，但面对土木工程这样一个覆盖面极广的一级学科，我们组编实际起两个作用：其一是组织工作，组织广大兄弟院校及设计施工部门的专家和学者们编写；其二是保证质量的作用，我们有一个较为完善的专家库，必要时请专家审阅、定稿。

简明土木工程系列专辑包括以下几层含义：简明，就是避免不必要的理论证明和繁琐的公式推导，采用简洁明快的表述方法，图文并茂，深入浅出，浅显易懂；系列，指不是一本书而是一套书，这套书力争囊括土木工程涵盖的各个次级学科和专业；专辑，就是以某个特定内容编辑成册的图书，每本书的内容可以是某种结构的分析与计算，某个设计施工方法，一种安装工艺流程，某种监测判定手段，一个特定的行业标准，等等，均可独立成册。

这套丛书不称其为“手册”而命名为“系列专辑”，原因之一是一些特定专题不易用手册的方法编写；原因之二是传统的手册往往“大而全”，书厚且涉及的技术领域多，而任何一个工程技术人员在某一个阶段所从事的具体工作又是针对性很强的，将几个专业甚至一个项目的某个阶段集中在一本“大而全”的手册势必造成携带、查阅上的不方便，加之图书的成本过高，编写机构臃肿，组织协调困难，出书及再版周期过长，以致很难反映现

代技术飞速发展、标准规范规程更新速度太快的现实。考虑到这些弊端,这套系列专辑采用小开本,在选题上尽量划分得细一些,视专业、行业、工种甚至流程的不同,能独立成册的绝不合二为一,每本书原则上只讨论一个专题,根据专题的性质和特点有的书名仍冠以“手册”两字。

这套系列专辑的编写严格贯彻“新颖性、实用性、科学性”三大原则。

新颖性,就是充分反映有关新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法,老的、过时的、已退出市场的一律不要。体现强劲的时代风貌。

实用性,就是避免不必要的说理和冗长的论述,尽可能从实用的角度用简洁的语言以及数据、表格、曲线图形来表述;深入浅出,让人一看就懂,一懂能用;不是手册,胜似手册。

科学性,就是编写内容均有出处,参考文献除国家标准、行业标准、地方标准必须列出以外,尚包括引用的论文、专著、手册及教科书。

这套系列专辑的读者对象是比较宽泛的,它包括大专院校师生,土木工程领域的管理、设计、施工人员,以及具有一定阅读能力的建筑工人。它既可作为土建技术人员随身携带及时查阅的手册,又可选作大专院校、高职高专的教材及专题性教辅材料。

崔京浩

2005年10月于清华园

崔京浩,男,山东淄博人。1960年清华大学土建系毕业,1964年清华大学结构力学研究生毕业,1986~1988年赴挪威皇家科学技术委员会做博士后,从事围岩应力分析的研究。先后发表论文150多篇,编著专业书4本,参加并组织编写巨著《中国土木工程指南》,任编辑办公室主任,并为该书撰写绪论;主持编写由清华大学土木工程系组织的“土木工程新技术丛书”和“简明土木工程系列专辑”,并任主编。曾任清华大学土木系副系主任,现为中国力学学会理事,《工程力学》学报主编,享受国务院特殊津贴。

前 言

随着社会经济的快速发展,我国正处于大规模的城市基础设施建设时期,新建建筑工程取得了举世瞩目的成绩。在进行新建建筑工程的同时,对已建建筑物加固改造与事故处理也取得了长足的发展,对已建建筑物平移和纠倾技术进行了大量的研究工作,并积累了较丰富的工程实践经验,完成的建筑物平移和纠倾工程规模越来越大,技术程度越来越复杂。为使建筑物平移和纠倾技术顺利发展,本书将作者多年从事该项工作的研究成果和工程经验予以总结,供大家参考。

为便于阅读,本书分为上、下两篇。上篇为建筑物平移技术,主要介绍了建筑物平移工程的设计方法、施工要求及工程实践;下篇为建筑物纠倾技术,介绍了建筑物主要纠倾方法的设计和施工方法,收入了典型的工程实例。

本书在编写过程中,阅读了大量文献资料,在此向其作者一并表示感谢。

本书第1章由张鑫编写;第2章由夏风敏编写;第3章由张鑫、贾留东编写;第4章由贾留东编写;第5章由夏风敏、张鑫编写;第6~12章由魏焕卫编写。全书由张鑫统稿。

由于时间仓促,书中内容不妥和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

2008年3月

目 录

总序

前言

平 移 技 术 篇

第 1 章 绪论	1
第 1 节 概述	1
第 2 节 国外建筑物平移技术	3
第 3 节 国内建筑物平移技术	12
第 2 章 建筑物平移工程设计	17
第 1 节 概述	17
第 2 节 平移建筑物检测鉴定与复核	18
第 3 节 平移建筑物加固与修补	19
第 4 节 荷载及荷载组合	20
第 5 节 平移牵引系统的设计	21
第 6 节 上轨道结构设计	31
第 7 节 下轨道结构及地基基础设计	39
第 8 节 连接设计	41
第 3 章 建筑物平移工程施工	43
第 1 节 概述	43
第 2 节 下轨道结构体系施工	44
第 3 节 上轨道结构体系施工	47
第 4 节 截断施工	49
第 5 节 水平移位施工	50
第 6 节 连接与恢复施工	54

第 7 节	施工监测/55	
第 8 节	施工验收/57	
第 4 章	建筑物平移设备	58
第 1 节	概述/58	
第 2 节	动力设备/59	
第 3 节	动力的施加方法/63	
第 4 节	行走机构/69	
第 5 章	建筑物平移工程实践	73
第 1 节	概述/73	
第 2 节	临沂市国家安全局 8 层办公楼整体平移设计、 施工及现场监测/73	
第 3 节	建筑物整体平移与隔震技术/88	
第 4 节	多层砌体结构纵向平移实践/94	
第 5 节	某综合楼的平移加层设计/102	
第 6 节	山东省莱芜市高新区管委会综合楼平移设计/107	
第 7 节	滚轴与橡胶垫隔震结构模型振动台试验/116	
第 8 节	某框架结构商住楼的旋转平移设计与施工/126	

纠 倾 技 术 篇

第 6 章	纠倾法综述	133
第 1 节	概述/133	
第 2 节	国内外纠倾技术发展现状/136	
第 3 节	建（构）筑物倾斜原因分析/140	
第 4 节	纠倾加固工程的特点/145	
第 5 节	建（构）筑物倾斜控制标准/146	
第 6 节	常用纠倾方法及其技术特点/150	
第 7 节	纠倾工程的设计/152	
第 8 节	纠倾工程中的动态监测/155	
第 9 节	纠倾后的加固/156	

第 7 章 掏土纠倾法	157
第 1 节 概述/157	
第 2 节 水平掏土纠倾/161	
第 3 节 倾斜掏土纠倾法/168	
第 4 节 应力解除纠倾法/171	
第 5 节 工程实例 1: 济钢 8 号住宅楼掏土灌水纠倾/175	
第 6 节 工程实例 2: 某 7 层住宅楼的斜孔掏土纠倾/180	
第 8 章 降水与浸水纠倾法	186
第 1 节 概述/186	
第 2 节 降水纠倾法/186	
第 3 节 浸水纠倾法/190	
第 4 节 工程实例: 120m 烟囱倾斜原因及降水纠倾处理/192	
第 9 章 顶升纠倾法	199
第 1 节 概述/199	
第 2 节 顶升纠倾法的设计/203	
第 3 节 顶升纠倾法的施工/208	
第 4 节 静压桩顶升纠倾法/209	
第 5 节 工程实例: 某铁路红外线房顶升纠倾/214	
第 10 章 压密注浆与膨胀纠倾法	219
第 1 节 概述/219	
第 2 节 压密注浆顶升法/220	
第 3 节 膨胀纠倾法/227	
第 11 章 其他纠倾法	237
第 1 节 概述/237	
第 2 节 断桩纠倾法/237	
第 3 节 减桩纠倾法/239	
第 4 节 加压纠倾法/240	
第 5 节 桩基卸载纠倾法/241	

第 6 节 预留纠倾法/243	243
第 12 章 特殊建(构)筑物纠倾	244
第 1 节 概述/244	244
第 2 节 工程实例: 比萨斜塔的纠倾/246	246
参考文献	252
出版者的话	

平移技术篇

第1章 绪论

第1节 概述

建筑物的平移是指在保持房屋整体性和可用性不变的前提下, 将其从原址移到新址, 它包括纵横向移动、转向或者移动加转向。建筑物的平移, 是一项技术要求较高, 具有一定风险性的工程, 要求通过平移和转动, 不仅使移位后的建筑物能满足规划和市政方面的要求, 而且还不能对建筑物的结构造成损坏, 应当尽量给予补强和加固, 同时要降低工程造价。目前, 我国各大中城市正在进行城市规划实施工作, 大规模地进行城市改造和纠正违规建筑活动, 旧城改造和纠正违规建筑的主要手段是强制拆除, 在强制拆除的建筑中有一大部分仍具有较大的使用价值, 这些建筑强制拆除不但给建设单位造成巨大的经济损失, 而且产生大量的不可再利用的建筑垃圾, 拆除和安置重建工作直接影响建设单位的正常工作和居民的生活稳定, 特别是一些具有人文价值的古建筑, 一旦拆除, 将给国家造成无法弥补的损失, 建筑物整体平移技术是解决上述矛盾的有效手段。

尽管建筑物平移技术在国内国外有大量的工程实例, 从事移楼工程的技术人员有着丰富的移楼工程经验, 但迄今为止, 许多移楼工程的设计与施工大多依靠经验, 理论计算比较粗糙, 而且从事此项研究的科研单位较少, 出现了理论落后于实践的状况, 例如, 牵引力的大小尚无统一的计算公式, 轨道梁和上托梁的设计方法缺乏规范依据, 托换构造尚不尽合理等。

建筑物平移技术在国外已有上百年的历史, 发达国家对于有继续使用和文物价值的建筑物都很珍爱, 不惜重金将其移至合适

位置予以保护。我国 20 世纪 90 年代初开始应用这项技术，目前已平移与旋转了上百栋建筑物，积累了一定的工程实践经验。

我国建筑物平移技术包括以下基本内容：

(1) 建造建筑物规划新址的基础及移位轨道。

(2) 对原建筑物在其基础顶面进行托换改造，在承重墙（柱）下面或两侧浇筑混凝土上托梁，形成钢筋混凝土托换底盘，既加强上部结构，又作为移动时的上轨道。

(3) 在建筑物原基础上和沿途基础上铺设钢垫板。

(4) 在钢板上设置滚动或滑动支座。

(5) 将建筑物与原基础分离，分离后的建筑物底盘放置于滚动或滑动支座上。

(6) 施加牵引力，将分离后的建筑物沿所设轨道整体移位至指定位置。

(7) 将整体移位后的建筑物承重墙（柱）与新建基础进行可靠连接，并进行必要的加固处理。

(8) 最后恢复室内外地面，并进行一定的装修。

通过大量的工程实例分析可以表明，建筑物平移技术具有显著的社会效益和经济效益；建筑物的整体平移造价大约为新建同类建筑物的 30%~60%；平移施工工期约为重建同类建筑物的 1/4~1/3，特别是在平移施工过程中，二层以上的使用功能基本不受影响，降低了拆迁安置工作的难度，为拆迁单位维持正常工作和居民的生活稳定提供了极大的便利条件，由此产生的间接经济效益甚至比单纯土建造价节省更加显著。而且，平移技术对环境保护有着非常重大的意义；建筑物拆除必将产生大量的建筑垃圾，而建筑垃圾并不像有些垃圾那样可重新回收利用，这将对环境造成极大的污染；同时，在拆除的过程中，产生了大量的粉尘和不可避免的噪声，对环境和人本身都造成了极大的危害。由此可以看出，通过建筑物平移技术，将仍具有使用价值的建筑物保存下来，不但可以满足城市整体规划和环境保护的需要，又可以节省大量的建设资金和拆迁安置费用，且能大幅缩短工期，减少

拆迁矛盾,若该项技术能在全国范围内广泛推广使用,其效益将是十分可观的。

第2节 国外建筑物平移技术

世界上早期的建筑物整体平移工程是1873年位于新西兰新普利茅斯市的一所1层农宅的平移,当时使用蒸汽机车作为牵引装置,施工情景如图1.1所示^[1]。

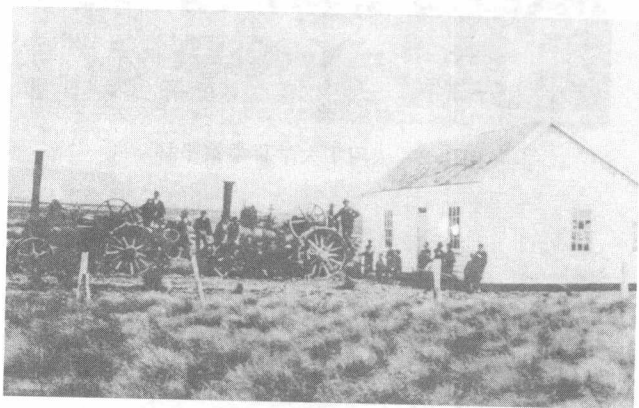


图1.1 早期平移工程

现代建筑物平移技术始于20世纪初,1901年美国依阿华大学由于校园扩建,将重约60000kN的3层高的科学馆(见图1.2)进行了平移,而且在移动的过程中,为了绕过另一栋楼房,采用了转向技术,将其旋转了45°。该建筑物平面为26m×35m,建筑面积约3000m²,这项移位工程采用的是圆木滚轴滚动装置,用了675个直径150mm的圆木滚轴,用800个螺旋千斤顶将建筑物顶起,采用木梁托换,用30个螺旋千斤顶提供水平牵引力(见图1.3)。这一技术在当时的土木工程界引起了相当大的兴趣和广泛的评论。该建筑物至今仍在使用,已经历了上百年的考验^[2]。

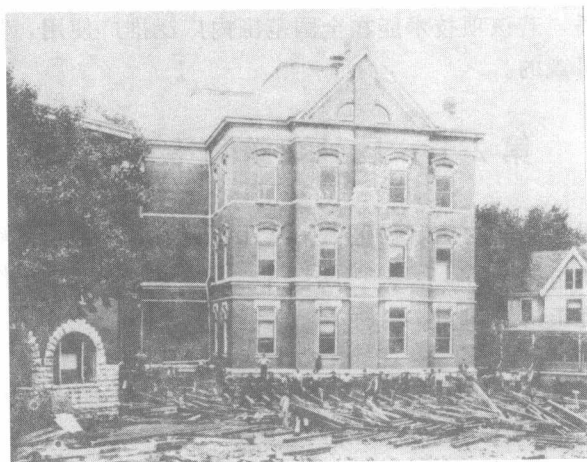


图 1.2 依阿华大学科学馆平移



图 1.3 平移路线

在以后 100 多年的时间里,许多国家都有过平移工程的实例。1937 年前苏联的莫斯科市进行了多栋建筑物平移,他们仅在扩建高尔基大街时就移动了 9 栋大楼。1975 年,捷克的工程师将具有 400 年历史的圣母玛丽亚教堂以 $20\text{mm}/\text{min}$ 的速度整体平移至 841.1m 外的莫斯特市新址,该教堂高 31m 、宽 30m 、长 60m ,总重 100000kN ,目前该教堂正以其悠久的历史和“非凡”的经历吸引着众多的世界游客^[3]。20 世纪 80 年代初,日本横滨市银行被整体平移至 170m 以外的新址,根据该市的发展计划,这座有 60 多年历史的建筑不得不平移,施工人员用 22 个油压千斤顶把 13000kN 的建筑托起,然后用滚轴方式以 $2\text{mm}/\text{s}$ 的速度行进,这座建筑的平移花费了 400 万美元^[4]。

20 世纪 80 年代初,位于英国兰开夏郡沃灵顿 (Warrington) 市的一所具有历史纪念意义的教学楼进行了平移,这所学校重约 8000kN ,砖石结构,由于道路拓宽不得不将该具有历史纪念意义的建筑纵向平移 15m ,建筑物托换顶起时使用了专用的托换装置,并用环氧树脂技术对建筑物进行了加固,在建筑物基础下建一个钢筋混凝土水平框架(上轨道梁),在该框架下建造另一个框架(下轨道梁)与筏板基础连为整体,并延伸至新位置,两个框架之间留有间隙放入滚轴,并涂抹润滑油,用专用卷扬机和钢丝绳作牵引装置,其采用的牵引装置和平移方法与国内的许多平移工程相似,如图 1.4 所示^[5]。

1983 年,在罗马尼亚首都布加勒斯特曾搬迁了两座大楼,一栋楼的建筑面积为 2000m^2 ,5 层高;另一栋由高度分别为 5 层和 7 层的建筑组成,建筑面积为 4000m^2 ,重达 64000kN 。平移大楼首先在基础顶水平切断,浇筑新基础,用多个千斤顶托起大楼,在楼底铺设 32 根钢轨,装进 100 多个滚动轮。为了把震动减少到最低点,在托架和楼底间放置了 3 层橡胶垫。平移时大楼所受的震动比有轨电车的震动还小。该工程用液压千斤顶移位,总推力为 4200kN ,每小时移位 1.19m ^[4]。