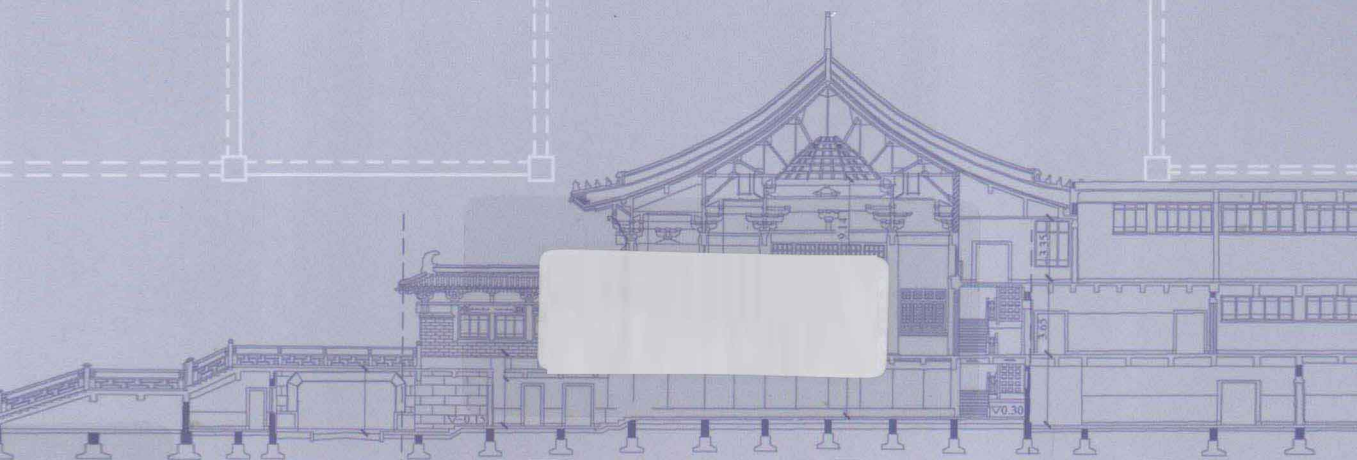


保护性历史建筑 抗震鉴定加固案例

—— 钢筋混凝土结构册

住房和城乡建设部防灾研究中心 主编



中国建筑工业出版社

保护性历史建筑 抗震鉴定加固案例

——钢筋混凝土结构册

住房和城乡建设部防灾研究中心 主编

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

保护性历史建筑抗震鉴定加固案例——钢筋混凝土结构册/住房和城乡建设部防灾研究中心主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2013. 5
ISBN 978-7-112-15239-1

I. ①保… II. ①住… III. ①古建筑-抗震加固-钢筋混凝土结构-案例-中国 IV. ①TU746. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 051463 号

责任编辑: 张幼平

责任设计: 董建平

责任校对: 陈晶晶 赵颖

保护性历史建筑抗震鉴定加固案例

——钢筋混凝土结构册

住房和城乡建设部防灾研究中心 主编

*

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

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16½ 字数: 410 千字

2013 年 7 月第一版 2013 年 7 月第一次印刷

定价: 55.00 元

ISBN 978-7-112-15239-1

(23327)

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

历史建筑的基本含义为具有重要历史意义与影响的建筑。我国《历史文化名城保护规划规范》GB 50357—2005 对历史建筑的定义为：有一定历史、科学和艺术价值，反映城市历史风貌和地方特色的建（构）筑物。建筑是人类社会发展、变迁的见证，具有特定的时代背景，是一部凝固的历史。英国国际古迹及遗址理事会主席伯纳德·费尔顿（Bernard Feilden）对历史建筑的定义是：历史建筑是能给我们惊奇感觉，并令我们想去了解更多有关创造它的民族和文化的建筑物，它具有建筑、美学、历史、记录、考古学、经济、社会，甚至是政治和精神或象征性的价值；它是我们文化自明性和连续性的象征——我们传统遗产的一部分。

中国近代历史建筑的发展历程经历了产生、转型、鼎盛、停滞、恢复五个时期，既体现了近代以来西方建筑风格对中国的影响，又保持了中华民族传统的建筑特色。从结构形式上看，砖木、砖石结构数量较多，钢筋混凝土结构数量较少，其中以民国建筑居多。近代建筑是社会特定历史背景下的产物，在我国历史建筑中占有重要地位，是一笔丰富的建筑文化遗产，它不仅是增强民族凝聚力的“心桥”，同时也是爱国主义教育的鲜活教材。

历史建筑是不可再生的稀有资源，其建筑艺术和历史人文价值与日俱增，弥足珍贵；然而，它们大多处于“高龄”阶段，随着岁月的侵蚀，必然日益老化、剥蚀，其安全性、适用性和耐久性越来越差，维修保护难度也越来越大。此外，部分此类建筑结构建造时抗震设防未予考虑或考虑不足，缺少相应的抗震构造措施，混凝土强度大多较低（一般只有C10~C15），楼板厚度大且单层配筋，隔墙与梁柱缺少构造性连接措施等。

地震给人类带来了巨大灾难。我国处在一个地震活动非常频繁的区域，世界上两大地震带——环太平洋地震带和欧亚地震带都穿越我国境内。我国大中城市中70%处于抗震设防烈度7度及以上地区，一批重要的城市，如北京、西安、兰州等都位于抗震设防烈度8度的高烈度地区。这些城市不仅是我国经济、文化的中心，而且很多也是近代历史建筑特别集中的地方，如北京、天津、西安等，一旦发生地震，后果将不堪设想。因此，对历史建筑进行抗震加固是保存这些建筑文化遗产的重要措施。

我国《城乡建设防灾减灾“十二五”规划》中明确提出开展具有历史价值建筑的防灾保护。因此，吸取汶川地震等自然灾害中大量文物和古建筑损毁的教训，研究各类具有历史价值建筑的防灾减灾目标、抗灾设防标准和防灾减灾措施，并开展抗灾鉴定和加固试点、提高其抗灾能力至关重要且势在必行。为贯彻《城乡建设防灾减灾“十二五”规划》，促进各地开展具有历史价值建筑的防灾保护，提高保护性历史建筑抗震能力，住房和城乡建设部防灾研究中心受住房和城乡建设部质量安全监管司委托，开展《保护性历史建筑抗震鉴定加固案例——钢筋混凝土结构册》的编纂工作。

本书作为系列丛书的一册，汇集了北京、上海、天津、南京等地保护性历史建筑抗震

鉴定加固案例 23 项，其中历史纪念建筑案例 4 项，文化教育建筑案例 7 项，办公服务建筑案例 8 项，工商金融建筑案例 4 项。这些优秀的工程案例经抗震加固后既体现出它们的历史和文化底蕴，又容纳了不同时期留下的文化痕迹，并在不改变外观历史特征的前提下，调整和完善了内部布局及设施，提升了其使用功能和防灾减灾能力，达到了使历史建筑在抗震加固后“修旧如旧”、“延年益寿”的目的。

保护性历史建筑抗震鉴定加固涉及历史文化、人文环境、结构设计、抗震加固、功能提升等方面内容，技术复杂，实施难度大。将这些历史建筑抗震鉴定加固的实践成果及时编辑成书，无疑是一种介绍、促进各地开展保护性历史建筑抗震加固技术的直观方法。希望本书的出版会进一步推动我国历史建筑保护事业的健康发展，为华夏建筑文明的传承作出应有的贡献！

本书可供从事建筑抗震加固工作的工程技术人员、大专院校师生和有关管理人员参考。

本书是住房和城乡建设部防灾研究中心专家团队共同辛勤劳动的成果。虽然在编纂过程中几易其稿，但由于编者水平有限，疏漏和不足之处在所难免，恳请广大读者朋友不吝赐教，斧正批评！

住房和城乡建设部防灾研究中心

2012 年 10 月 10 日

Preface

A historic building usually refers to a building with important historic significance and influence. In Code of Conservation Planning for Historic Cities (GB 50357—2005), a historic building is defined as a building or structure that has certain historic, scientific and artistic values and reflects a city's historical features and local color. Buildings are witnesses of social development and change as well as fixed histories with specific historical background. Bernard Feilden, Chairman of the UK International Council on Monuments and Sites, made the following remarks about historic buildings: "A historic building can give us a sense of wonder and lead us to learn more about the nation and culture which has created it. It has symbolic values in terms of architecture, aesthetics, history, recording, archaeology, economy, society and even politics and spirits. It is a symbol for self-evidence and continuity of our culture and a part of our traditional heritage."

The development of China's modern historic buildings has undergone five stages which are emergence, transition, prosperity, stagnation and recovery, reflecting the influence of western building style on China in modern times while maintaining traditional Chinese building characteristics. In terms of structure, there are more masonry-timber structures and masonry structures, and fewer reinforced concrete structures, among which most are constructed in the period from 1912 to 1945. Modern buildings are results of specific social and historical backgrounds and occupy a very important position in China's historic buildings. As a rich legacy of building culture, they are not only "heart-bridges" that strengthen the nation's cohesion but also vivid textbooks for patriotism education.

Historic buildings are rare non-renewable resources, and their architectural, artistic, historic and cultural values grow with each passing day. However, most of them are at their "senior ages", and along with the erosion and aging, there come problems in safety, comfort, durability, maintenance and conservation. Besides, due to lack of consideration of seismic fortification when constructed, some historical buildings are in face of problems like inadequate seismic structures, comparatively low concrete strength (only C10~C15), thick floor slab with single reinforcement, no structural linkage for partition, beam and column, etc.

China suffers from frequent earthquakes with two largest seismic zones, Circum-Pacific seismic zone and Eurasia seismic zone, traversing its territory. Earthquakes bring about serious disasters. In China, 70% of big and medium-sized cities are located in areas whose seismic fortification intensity exceeding VII-intensity, and some important cities

such as Beijing, Xi'an and Lanzhou are located in areas with seismic fortification intensity exceeding VIII-intensity. These cities such as Beijing, Tianjin and Xi'an are not only economic and cultural centers for China but also cities with many modern historic buildings. Once an earthquake happens, the consequences will be disastrous. Therefore, to carry out seismic fortification is a very important measure to protect these architectural and cultural legacies.

The Twelfth-five Year Plan for Urban-Rural Development and Disaster Prevention and Reduction points out that China should carry out disaster prevention protection for buildings with historic significance. Therefore, it is very important and imperative to learn lessons from damages to cultural relics and historic buildings during natural disasters such as Wenchuan earthquake, to study disaster prevention and reduction goals and measures, and anti-disaster fortification standards of all kinds of buildings with historic values, and to carry out anti-disaster appraisal and strengthening pilots to improve their anti-disaster capacity. Authorized by Department of Construction Quality and Safety Supervision of MOHURD, Disaster Prevention Research Center of MOHURD takes in charge of the compilation of Case Study of Seismic Appraisal and Strengthening of Protected Historic Buildings—A Manual on Reinforcement Concrete Structure to implement The Twelfth-five Year Plan for Urban-rural Development and Disaster Prevention and Reduction, to promote disaster prevention protection for historic buildings in local areas, and to improve seismic capacity of protective historic buildings.

As one volume of a series of books, this book demonstrates 23 cases of seismic appraisal and strengthening for protective historic buildings in cities such as Beijing, Shanghai, Tianjin and Nanjing, including 4 historic monument buildings, 7 cultural education buildings, 8 office service buildings, and 4 industrial, commercial and financial buildings. After seismic strengthening, these project cases not only embody their historical and cultural tradition but also contain cultural relics of different ages. Without changing any exterior historical features, they adjust and improve their interior layout and facilities to promote their usage functions and disaster prevention and reduction capacity. As result, after seismic strengthening, these historic buildings are “as old as they were in exterior appearances”, but “their longevity are greatly prolonged.”

Seismic appraisal and strengthening of protective historic buildings cover many aspects like historical culture, humanistic environment, structural design, seismic strengthening, and function improvement. It uses complicated technologies and is difficult for implementation. Therefore, it is no doubt a direct way to introduce and promote seismic strengthening technologies for protecting historic buildings in local areas by compiling all these practical achievements into this book. It is hoped that the publication of this book will further advance the healthy development of China's causes for protecting historic buildings and make contribution to the inheritance of Ancient China's building culture.

This book should be of interest to technical engineers engaged in seismic strengthening of buildings, college teachers and students, and relevant administrative staff.

This book is jointly completed by experts from Disaster Prevention Research Center of MOHURD. Any constructive suggestions and comments from readers are greatly appreciated.

Disaster Prevention Research Center of MOHURD

Oct. 10, 2012

Website: [www. dprcmoc. com](http://www.dprcmoc.com)

Email: [office@dprcmoc. com. cn](mailto:office@dprcmoc.com.cn)

Telephone: 010-64517465

Fax: 010-84273077

目 录

第一章 历史纪念建筑	1
1. 北京火车站抗震鉴定与加固设计技术	3
2. 济南火车站原候车室鉴定与加固改造	8
3. 南京市原“励志社”宫殿式建筑群结构抗震检测与鉴定	15
4. 厦门经济特区纪念馆抗震加固工程	25
第二章 文化教育建筑	35
5. 中国国家博物馆老馆抗震加固工程	37
6. 中国人民革命军事博物馆抗震鉴定与加固	46
7. 中国国家图书馆分馆抗震加固改造设计	55
8. 中国地质博物馆抗震鉴定与加固设计	61
9. 北京展览馆消能减震加固	66
10. 南京博物院老大殿整体顶升与隔震加固工程	74
11. 东南大学老图书馆抗震鉴定与加固	90
第三章 办公服务建筑	95
12. 沈阳市政府大楼抗震加固及增层改造工程	97
13. 北京京西宾馆西楼抗震鉴定及加固	105
14. 上海外滩源中实大楼抗震加固工程	114
15. 上海华东医院南楼文物建筑抗震加固与改建工程	125
16. 上海扬子饭店抗震鉴定与加固	138
17. 上海东海大楼抗震加固工程	148
18. 上海市广东路 51 号大来大楼抗震鉴定与加固	161
19. 天津市交通饭店大楼抗震加固及改造工程	174
第四章 工商金融建筑	181
20. 上海大世界抗震加固工程	183
21. 上海市百一店老楼鉴定与加固改造	203
22. 上海外滩源兰心大楼抗震鉴定与加固	219
23. 上海外滩 23 号大楼工程的抗震加固	230
附录	239
I. 保护性历史建筑（钢筋混凝土结构）的抗震鉴定方法	239
II. 北京地区保护性历史建筑（钢筋混凝土结构）抗震加固改造技术调研与试点工程	247

Contents

Chapter I	Historic and Memorial Buildings	1
1	Seismic appraisal and strengthening design of Beijing Railway Station	3
2	Appraisal and strengthening retrofitting of former waiting room of Ji'nan Railway Station	8
3	Structural seismic testing and appraisal of Nanjing "Lizhi She"—a palatial architecture complex	15
4	Seismic strengthening of Xiamen Special Economic Zone Memorial Hall	25
Chapter II	Cultural and Educational Buildings	35
5	Seismic strengthening of the original part of the National Museum	37
6	Seismic appraisal and strengthening of The Military Museum of the Chinese People's Revolution	46
7	Seismic strengthening retrofitting design for branch library of National Library of China	55
8	Seismic appraisal and strengthening design for the Geological Museum of China	61
9	Energy dissipation strengthening of Beijing Exhibition Center	66
10	Holistic jacking and seismic isolation strengthening of Laoda Hall of Nanjing Museum	74
11	Seismic appraisal and strengthening of the original library of Southeast University	90
Chapter III	Office and Service Buildings	95
12	Seismic strengthening and storey-adding of Shenyang Municipal Building	97
13	Seismic appraisal and strengthening of west wing of Jingxi Hotel	105
14	Seismic strengthening of Zhongshi Building in Waitan Yuan of Shanghai	114
15	Seismic strengthening and retrofitting of south wing historic building of Huadong Hospital	125
16	Seismic appraisal and strengthening of Shanghai Yangzi Hotel	138
17	Seismic strengthening of Shanghai Donghai Building	148
18	Seismic appraisal and strengthening of No. 51 Guangdong Road Dalai Building in Shanghai	161
19	Seismic strengthening and retrofitting of Communications Hotel in Tianjin	174

Chapter IV Industrial, Commercial and Financial Buildings	181
20 Seismic strengthening of the Great World in Shanghai	183
21 Appraisal and strengthening retrofiting of the original building of Shanghai No. 1 Department store	203
22 Seismic appraisal and strengthening of Lyceum Building in Shanghai Waitan Yuan ...	219
23 Seismic strengthening of Shanghai Waitan No. 23 Building	230
Appendix	239
I . Seismic appraisal method for protective historic buildings (reinforced concrete structure)	239
II . Survey and pilot project of seismic strengthening and retrofiting technologies for protective historic buildings (reinforced concrete structure) in Beijing	247

Chapter I
Historic and Memorial Buildings

第一章 历史纪念建筑

1. 北京火车站抗震鉴定与加固设计技术

1 Seismic appraisal and strengthening design of Beijing Railway Station

基本信息

Basic information

项目名称：北京火车站抗震鉴定与加固设计技术

Project name: Seismic appraisal and strengthening design of Beijing Railway Station

建设地点：北京

Location: Beijing

建筑面积：4.8 万 m²

Gross floor area: 48000m²

建造时间：1959 年

Construction year: 1959

鉴定加固时间：1999 年

Appraisal and strengthening year: 1999

本文执笔：程绍革

Writer: Cheng Shaoge

执笔人单位：中国建筑科学研究院工程抗震研究所

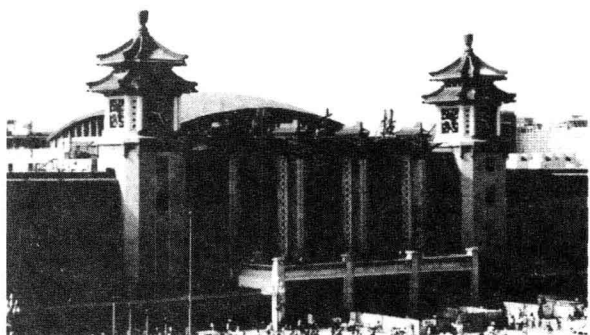
Writer's unit: Institute of Seismic Engineering of China Academy of Building Research

一、工程概况

北京是全国政治、经济、文化中心，北京火车站作为首都的重要门户之一，其重要性和所处的特殊地位是不言而喻的。

北京火车站建筑总面积 4.8 万 m²，根据使用功能的要求设缝分为 19 个候车大厅、电影厅、游艺厅等，中央大厅采用大型预应力钢筋混凝土双曲扁壳，结构轻巧，造型开朗优美，站后有入站高架天桥，各建筑分区如图 1-1 所示。

北京火车站大楼为钢筋混凝土框架结构，原设计按前苏联抗震规范规定进行了 7 度抗震设防，大楼于 1959 年竣工，列为当时的首都十大建筑之一。近四十年来，由于我国经济的迅速发展，车站客流量较原设计成倍增加，大楼超负荷运转，加速了建筑、结构和设



北京火车站外景

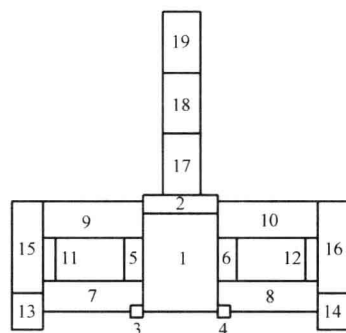


图 1-1 北京站分区示意图

备的损坏，1976 年唐山地震也影响了大楼的安全性与耐久性，因此有必要对其进行抗震鉴定与加固。结合抗震加固进行了建筑内外装修、设备更新等，以满足当前形势发展的需求。

二、大楼历次抗震鉴定简述

早在 1985 年至 1988 年期间，受北京铁路分局的委托，中国建筑科学研究院工程抗震研究所进行了大楼的结构抗震鉴定。除按《工业与民用建筑抗震设计规范》TJ 11—78 进行必要的验算外，还采用弹塑性时程分析方法分别估算了北京地区遭遇设防烈度地震（8 度）影响和罕遇地震（9 度）影响时的可能破坏程度，并进行了模拟结构实物的抗震性能试验。在此基础上经反复协商提出了加固方案，并通过了铁路内外有关专家的论证。

1996 年因车站大楼 7~10 区进行空调系统改造，北京火车站委托工程抗震研究所对该四区重新进行了抗震鉴定与加固设计。主要进行的工作为：在原鉴定结论的基础上，按《建筑抗震设计规范》GBJ 11—89 及当时即将颁布实施的《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—95 重新进行抗震承载力复核，并对抗震加固方案进行了优化。

1998 年，为迎接中华人民共和国五十周年大庆，北京火车站委托工程抗震研究所对大楼进行了全面的抗震鉴定与加固、建筑内外装修与设施更新改造的综合设计工作。这一阶段，工程抗震研究所充分吸收了工程抗震及结构加固研究的新近成果（如消能减震技术、树根桩托换技术、无振动钻孔及化学植筋技术等），对原加固方案进行了较大的调整，形成最终实施方案。

三、北京火车站大楼抗震鉴定主要结果

北京火车站建成于 1959 年，限于当时我国的经济水平和技术条件，结构抗震设防水准偏低，存在着多方面的缺陷，北京站各分区主要鉴定结论列于表 1-1。

1. 北京火车站抗震鉴定与加固设计技术

北京火车站大楼各分区抗震鉴定结果一览表

表 1-1

区号	名称	结构特征	鉴定结论
1	广厅	框架结构, 35m 跨双曲扁壳	底层边柱、角柱纵筋偏少; 梁柱节点区箍筋不满足; 层间变形稍大; 9 度时严重破坏或可能倒塌
2	广厅后楼	四层单跨框架结构	角柱纵筋稍少, 底层变形偏大, 梁柱节点箍筋不足, 有明显的变形集中, 9 度时可能倒塌
3、4	左右钟楼	筒体结构	无需加固
5、6	广厅边楼	四层框架结构	梁柱节点箍筋不足, 抗震能力差
7、8	北区候车室	三层带小楼框架结构	顶层柱截面偏小、配筋不足; 梁柱节点箍筋不足; 顶层有明显变形集中; 8 度时可能严重破坏, 9 度时小楼可能倒塌。
9、10	南区候车室	二层带小楼和夹层框架结构	小楼抗震能力严重不足, 角柱、边柱纵筋不足, 梁柱节点箍筋不足。8 度时小楼可能倒塌
11、12	两翼夹层	二层框架结构	可不考虑加固
13、14	两翼北区	三层带角楼框架结构	角柱、边柱纵筋偏少, 角楼抗震能力不足。8 度时角楼可能倒塌
15、16	两翼南区	三层框架结构	三层有部分中柱纵筋不足, 层间变形大, 梁柱节点箍筋不足。9 度时可能严重破坏或倒塌
17~19	高架候车廊	框架结构, 16m 拱, 屋顶为双曲扁壳	地基不均匀沉降导致多处开裂, 层间变形大, 梁柱节点箍筋不足。9 度时可能倒塌

此外各分区防震缝最大宽度为 7cm, 不能满足现行规范要求, 并且变形验算结果表明地震时各分区会相互碰撞。

鉴定结果表明: 北京火车站大楼各区整体刚度较小, 在地震作用下的变形较大, 另外梁、柱及梁柱节点的配筋构造明显不符合规范要求, 致使结构的变形能力不足。因而在设防烈度地震作用时就可能发生明显的损坏和局部严重破坏, 在罕遇地震作用时结构将发生严重破坏甚至造成倒塌, 必须进行抗震加固。

四、抗震加固方案的确定

北京火车站的抗震加固设计自 1985 年开始筹划, 不断调整、逐步完善, 直至 1998 年才得以正式实施。本工程抗震加固设计的主要依据有: (1) 《建筑抗震鉴定标准》GB 50023—95; (2) 《建筑抗震加固技术规程》JGJ 116—98; (3) 《混凝土结构加固技术规范》CECS 25: 90; (4) 国家有关的现行结构设计规范; (5) 工程抗震研究的新技术、新材料和新工艺。

由于北京火车站是首都的标志性建筑, 在考虑加固方案时需兼顾建筑、结构抗震、经济、施工几方面的因素, 为此项目组提出了如下抗震加固设计遵循的原则:

1. 符合北京地区抗震设防烈度 8 度、乙类建筑的抗震鉴定设防目标;
2. 加固方案以不影响建筑外观为前提, 尽量减少对使用功能的影响;
3. 尽可能减少加固工作量, 易于分段独立施工, 减少因施工对车站运营的影响;
4. 运用先进的加固技术, 提升加固设计中的科技含量。

在此原则下针对车站大楼各分区存在的主要问题, 项目组决定以改变结构体系作为主要加固方案, 即将框架结构改为框架-剪力墙结构; 对一区广厅采用国家“八五”科技攻关的最新工程抗震研究成果, 即消能减震技术进行加固; 对高架候车廊则以湿式外包钢法

为主，利用树根桩加固技术解决基础不均匀沉降问题。

五、主要加固技术介绍

1. 改变结构体系加固方案：即在结构的适当部位增设一定数量的剪力墙，将原框架结构改变为框架-剪力墙结构。一方面通过提高结构的侧向刚度，减小地震作用下的变形；另一方面，新加剪力墙承担了大部分的地震作用，减小了原框架梁柱的受力，其抗震等级也降低，从而在不加固或少加固原框架梁柱的前提下，减轻地震破坏，达到抗震鉴定所规定的设防要求。该方法是框架结构抗震加固常用且非常有效的方法，北京火车站大多数区段采用了这一方法。

新增剪力墙的位置一般设在各分区的四角，布置对称均匀，这些部位原有围护墙或隔墙，因此基本上不会影响建筑内部的原有功能。新增剪力墙数量根据结构的整体分析计算确定，通过调整剪力墙的长度、厚度以及剪力墙上门窗洞口位置、大小，控制结构的变形和扭转效应。

新增剪力墙两端自设端柱，承担了剪力墙的主要弯矩。端柱与原框架柱用交错布置的拉结筋相连，为避免剪力墙竖向分布筋穿梁对原框架梁造成过多的损伤，设计中将其中一排筋从梁边穿楼板伸入上一层楼，另一排筋在原框架梁位置按等强度原则等代，以减少穿筋数量，但端柱纵筋未进行等代替换，以保证剪力墙边缘构件的连续性。新增剪力墙在原框架梁上下各做一道暗梁，当结构层高较大时，在层高中间再加设一道暗梁。新增剪力墙的基础处理方法另作简要说明。

2. 消能减震加固新技术应用：一区广厅最初（1988年）加固方案也采用改变结构受力体系方案，即在中庭四角设L形剪力墙。由于剪力墙长度有限，侧向刚度提高有限，经验算多遇地震作用下顶点位移仍有2.4cm，如遇大震作用则有与相邻区段结构发生碰撞的可能，此外尚需对东西向的10根框架柱进行加固。该方案明显地改变了广厅的建筑布局，大厅采光也受到影响，并且加固施工时需进行基础开挖，严重影响车站正常运营。

1998年项目组利用抗震所国家“八五”科技项目《中高层建筑减震耗能技术研究》的成果，提出采用消能减震新技术对广厅进行加固，消能支撑设置位置如图1-2加黑线部分所示。经计算分析对比，新方案具有较大优点：（1）设置在原有填充墙位置的消能支撑，可利用建筑装修及大型广告牌予以遮挡，北侧消能支撑设于窗内，不影响外立面，大厅内采光也不受影响（图1-3）；（2）计算表明消能器能吸收大量的地震能量，结构在地震作用下的变形明显减少，与周边结构的位移较协调，减少了发生碰撞的可能；（3）该方案无需对基础及框架柱进行加固，施工现场无湿作业，基本上不影响车站正常运营。

3. 外包钢加固技术：北京火车站17~19区高架候车廊跨越多条铁路，是旅客进入各站台的通道，因地基不均匀沉降已发生拱圈开裂现象，地震变形验算表明大震将导致全部倒塌，致使铁路运营中断。该区在加固施工时绝对不能影响列车正常进出车站，因此不可能增设任何构件进行加固，只能采用外包钢加固技术。高架候车廊采用外包钢加固时，不仅增加了框架柱纵筋，解决了承载力不足问题，同时也加强了柱的箍筋构造，尤其是梁柱节点区，通过钻孔锚筋技术，较好地解决了已往节点区无法加固的矛盾。采用外包钢加固