10. 济南宏济堂古建筑的整体平移及抗震加固设计

夏风敏　贾留东　张　鑫

（山东建筑大学建大工程鉴定加固研究所，济南　250014）

摘　要：本文结合工程实例，主要介绍了整体性较差的古建筑的平移设计，建筑物平移就位采用隔震支座进行连接，平移后的古建筑设计为橡胶垫隔震建筑，对古建筑的抗震加固设计有着广泛的示范作用。

关键词：古建筑；整体平移；隔震；抗震加固

1　引言

近年来由于旧城区的改造，许多古建筑面临拆除或搬迁的问题，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。在既能满足城市改造的要求又能最大限度地对古建筑进行保护的前提下，建筑物的整体平移是有效的手段之一。

2　工程概况

济南市宏济堂经二路药店建于1920年，至今已有88年的历史，该建筑为两层砖木结构，由南楼和北楼组成，见图1。南楼建筑面积约320m^2，北楼建筑面积约160m^2。现因道路拓宽需对其进行平移保护。该建筑需要向北平移约11.6m，向东平移约16m，旋转3.81°，见图2，建筑物到位后，再整体顶升0.4m。由于该建筑为砖木结构，且已使用多年，其结构的整体性和抗震能力较差。因此，对托换结构整体性及平移施工的稳定性要求较高，并且需要对其进行抗震加固。



图1　建筑物外观图

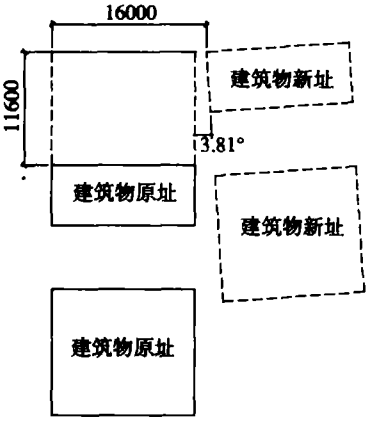


图2　建筑平移示意图

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3 平移设计

3.1 托换结构设计

承重墙的托换方法通常有两种，一是在墙下直接加梁进行托换（单梁式托换），二是在墙两侧加梁进行托换（双梁式托换）。由于该建筑物的整体性较差，在墙下直接托换，需要在墙下开较大的洞口，对上部结构的影响较大，而且需要分段施工，施工工期较长。该工程采用双梁式托换。同时为确保托换结构的整体性和对上部结构荷载的有效传递，墙两侧的托换梁每隔1.5m左右就增加了一根连接短梁。并且在各轨道梁之间增加了水平斜撑，见图3。

3.2 地基基础及下轨道设计

该工程由于建筑物重量较轻，建筑物原位处和过渡段的基础采用的是墙下（上轨道下）条基。建筑物新址处的基础由于建设单位需要增加一层地下室，所以新址处的基础采用的是筏板基础。

3.3 牵引系统设计

目前建筑物的平移一般采用滚动式、滑动式和轮动式。滚动式是在建筑物的上下轨道间安放滚轴，施加动力使建筑物在滚轴上滚动，来实现建筑物移位的目的，目前国内建筑物平移多采用此种方法。其优点是阻力小，摩擦系数在0.003～0.1之间，并且其摩擦系数和滚轴直径有关，滚轴直径越大，摩擦系数越小；移动速度较快；平移过程震动相对较小；施工简单，但建筑物只能沿滚轴滚动的方向移动。缺点是如果建筑物自重较大，其滚轴承受的荷载也加大，可能会导致滚轴破坏或变形，从而对上部结构产生影响。轮动式是建筑物托在一种特殊的平板拖车上，用拖车带动建筑物移位。此方法适用于长距离荷重较小的建筑物。滑动式是建筑物的上下轨道间安放滑块，施加动力使建筑物通过滑块与下轨道产生相对滑动，来达到建筑物移位的目的。其优点是平移平稳、抗震动、抗风荷。缺点是移位阻力较大，摩擦系数在0.1～0.15之间，而且一旦部分滑脚发生破坏就造成托换梁跨度和内力的突然增大，致使上部结构发生局部变形。

由于该工程重量较小，而整体性和抗震性较差，对上述三种方式进行综合比较后，采用聚四氟乙烯滑块作为本工程的行走装置，而动力施加采用PLC控制的同步液压千斤顶。这种牵引系统的组合可最大限度地确保建筑物移动的平稳性和同步性，避免过大的震动和不同步对建筑物上部结构造成的影响。

4 就位连接和抗震加固设计

建筑物平移到位后，其就位连接方式是大家普遍关注的问题。而古建筑又普遍存在着抗震性能差的缺点。结合建筑物的平移，在建筑物就位连接时采用隔震连接方式，可有效提高原建筑物的抗震能力。这样在建筑物平移的同时，又对结构进行了抗震加固，而且还不需要对建筑物的上部结构进行处理，不影响其外观。

由于建筑物到位后需增加一层地下室，地下室顶板在建筑物到位，隔震支座安装完成后再在上轨道梁顶浇筑，并且该顶板将南北楼连为了一个整体。所以以下计算是按建筑物南北楼的总重并考虑新增地下室顶板的重量进行的。

济南市的抗震设防烈度为6度，设计基本加速度为0.05g。设计地震分组为第二组，建筑物场地类别为Ⅱ类，特征周期T_g=0.4s，多遇地震α_{max}=0.04，罕遇地震α_{max}=0.28。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

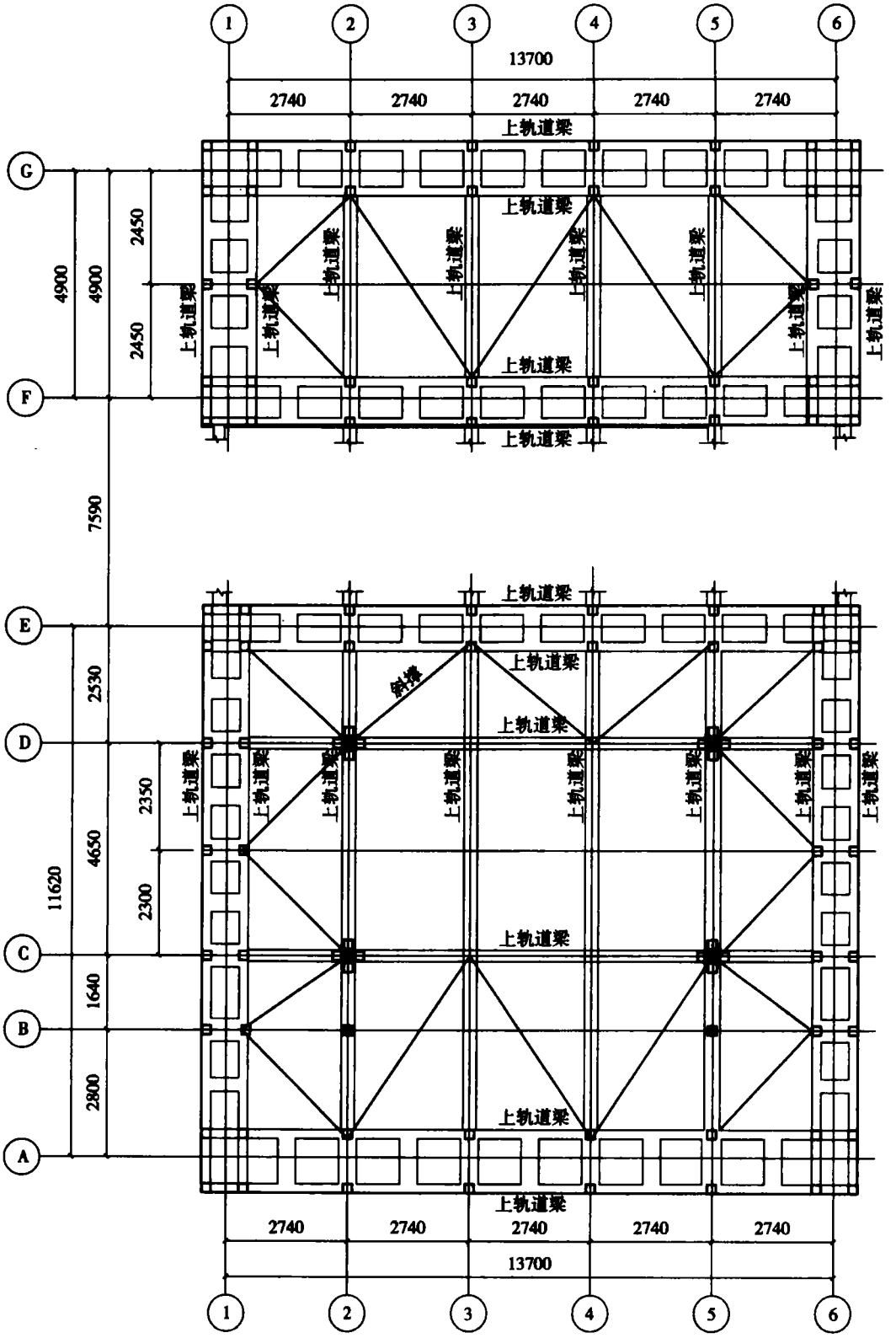


图 3 托换结构布置图

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

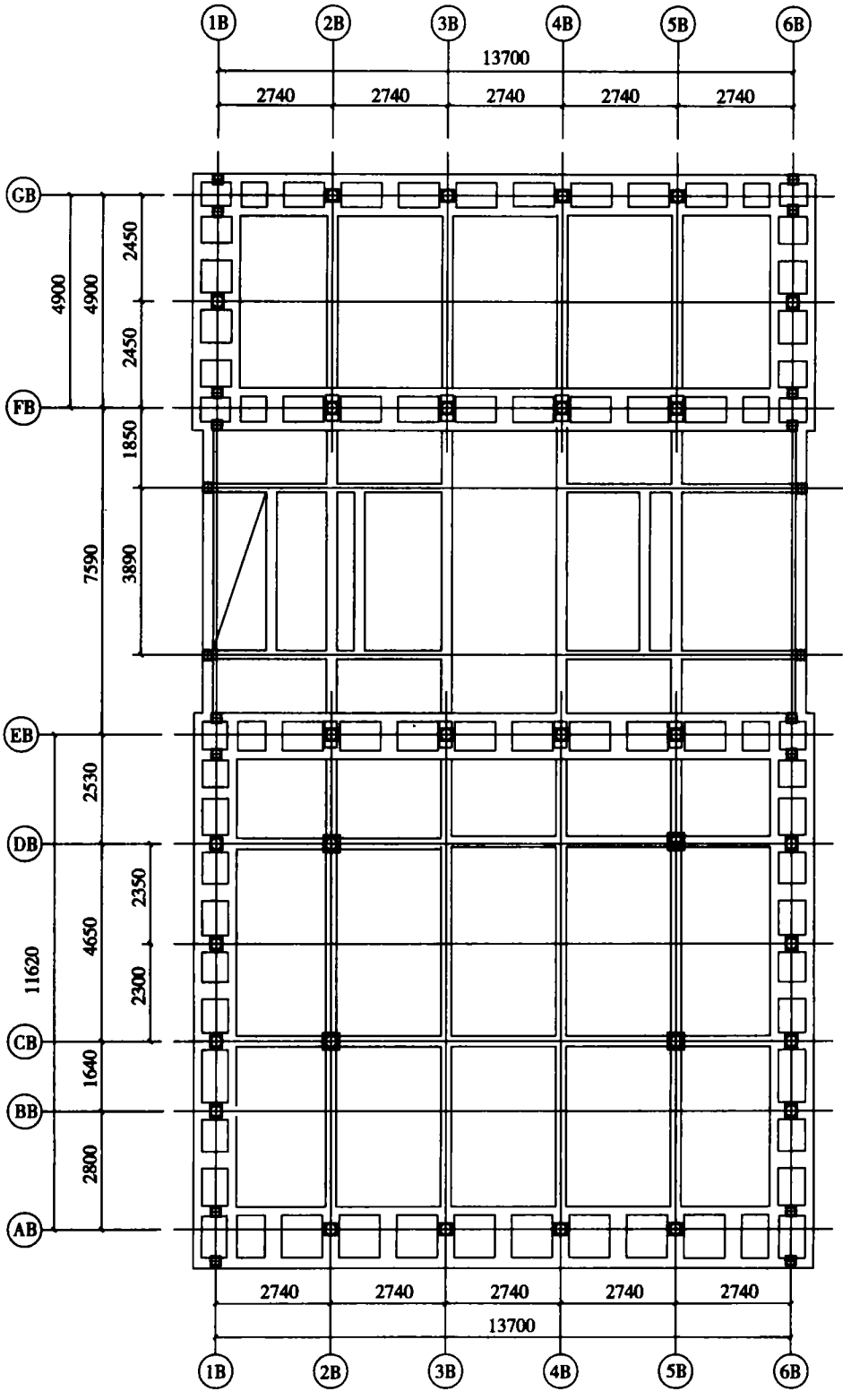


图 4 隔震支座布置图

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

根据竖向承载力，按照丙类建筑，且 $S_2>5$ 的假定，考虑以下方案：

建筑物总重：$M=2000t$，$G=20000kN$。

初步方案选定 30 个 250 型铅芯支座，20 个 200 型铅芯支座。

按照已提供的产品指标，300 型铅芯支座屈服后的刚度（即纯橡胶垫的水平刚度）为 0.58kN/mm，等效阻尼比 0.2，200 型铅芯支座屈服后的刚度为 0.36kN/mm，等效阻尼比为 0.2。

隔震结构的等价刚度为：$K=\sum K_i=0.58\times30+0.36\times20=24.6N/mm$

等效周期：$T=2\pi\sqrt{\frac{G}{Kg}}=1.8s$

等效阻尼比：$\zeta=0.2$

曲线下降段衰减指数为：$\gamma=0.9+\frac{0.05-\zeta}{0.5+5\zeta}=0.8$

阻尼调整系数为：$\eta_2=1+\frac{0.05-\zeta}{0.06+1.7\zeta}=0.625$。

在罕遇地震作用下，水平地震影响系数为：$\alpha=\sqrt{2}\eta_2\left(\frac{T_g}{T}\right)^{\gamma}\alpha_{max}=0.074$。

在罕遇地震作用下，隔震层的水平剪力为：$V=\lambda_s\alpha G=1480kN$。

则在大震作用下，隔震层的最大水平位移：$u_{max}=\frac{V}{K}=60mm$。

橡胶垫材料的剪切弹性模量 G 取 0.5MPa，则由水平刚度 0.58kN/mm，可得橡胶层总厚度 $t_r=\frac{GA}{K_i}=42.3mm$。

故可取 15 层橡胶，每层厚度 3mm，总厚度 $t_r=45mm$，则第二形状系数 $S_2=\frac{D}{t_r}=\frac{250}{45}=5.6$，符合前面的假定 $S_2>5$。

根据《叠层橡胶支座隔震技术规程》4.3.5 条，隔震支座在罕遇地震作用下的水平位移：

$u_{max}=60mm\leq0.55D=0.55\times250=137.5mm$

$u_{max}=60mm\leq3t_r=3\times45=135mm$ 也满足这一要求。

经符合验算，竖向承载力也满足要求。支座布置见图 4。隔震支座安装图见图 5。

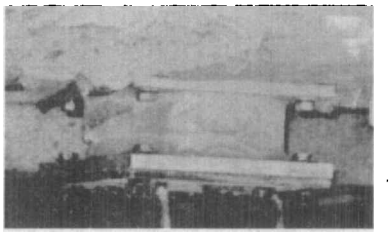


图 5 隔震支座安装图

5 结语

实践证明，对于抗震性能差的古建筑，在平移保护的同时，安装隔震橡胶垫，可改变建筑物的动力特性，增强建筑物的抗震能力。

参 考 文 献

[1] 周福霖．工程结构减震控制．北京：地震出版社，1997.

[2] 建筑抗震设计规范（GB 50011—2001）．北京：中国建筑工业出版社，2001.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net