

文章编号:1671-6833(2003)02-0033-04

人防工程主体结构木柱加固方法探讨

王天运¹, 申祖武¹, 刘国强², 刘水江²

(1. 武汉理工大学土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070; 2. 总参工程兵科研三所, 河南 洛阳 471023)

摘 要:人防工程平战功能转换是人防工程建设和发展的重要指导思想, 人防工程主体结构加固改造必须满足可靠、迅速和经济三大指标, 后加柱技术是人防工程主体结构提高结构抗力等级的比较实用的方法, 木柱是一种易加工安装且经济可行的后加柱形式. 采用无梁板结构, 通过水囊逐级加载试验, 分析了板、墙和柱上混凝土和构件内钢筋的应力—应变关系及可能的破坏特征. 试验结果表明, 木柱可用于人防工程主体结构的加固改造.

关键词:人防工程; 平战功能转换; 后加柱

中图分类号: TU 311 **文献标识码:** A

0 引言

我国经过四十多年的人防工程建设, 已经建立了分布较为合理、功能比较齐全的全国人民防空系统. 现代战争先进的武器攻击系统对人防建设提出了更高的要求, 人防工程主体结构加固改造是提高防御能力的一种有效方法. 本文结合结构模型的水囊逐级加载试验分析结果, 探讨木方柱在人防工程主体结构平战功能转换技术中的应用.

1 主体结构后加柱的平战功能转换要求

人防工程主体结构的加固改造必须满足和达到可靠、迅速和经济这三项基本要求. 为此, 主体结构的加固设计方案必须要简单易行, 加固材料要容易取得, 加固施工要简便可靠, 不需要专门的大型施工安装设备, 不需要专业人员施工就可完成. 另外战争状态结束后, 这些加固的构件能迅速拆除, 恢复人防工程和平时期的使用.

后加柱是人防工程主体结构平战功能转换技术中较常采用的一种加固形式, 即出于防护抗力考虑, 增加活动柱支撑, 变大跨度为小跨度, 满足抗力等级的新要求. 后加柱的形式多种多样, 如可采用钢管砼柱、砼柱、钢柱、木柱、砖柱, 这些柱形式经过适当的验算和分析, 合理布置柱间距就基本上能满足主体结构承受爆炸动荷载的要求^[1].

但临战加固时, 要求在没有专门的制作设备和安装设备、没有专业技术人员的协作和指导的条件下 72h 内完成, 采用钢管砼柱、砼柱、钢柱等柱形式, 现场制作根本满足不了战时的转换要求; 采用这些柱形式的预制构件或组合构件, 同样由于和平时期的保存、养护等原因很难在战时提供足够的零构件, 而且这些构件重量大, 没有中型以上的安装设备也很难实现.

木材是理想的后加柱材料之一, 它来源广泛, 易取易加工; 重量轻, 安装简单方便迅速; 浪费较少, 战争结束后撤除的大量木材大多仍可作其他用途, 非常适合于平战功能转换.

2 浅埋矩形结构后加柱加固水囊逐级加载试验及结果分析

2.1 试验简介

浅埋地下矩形结构设计时, 结构立柱、顶板、底板、侧墙按 6 级人防工程设计^[2]. 试验采用的小尺寸构件模型如图 1 所示. 小尺寸构件模型的几何相似比 $C=1/4$, 混凝土的标号为 C30; 顶板厚度为 50 mm, 板的配筋率为 1.4%, 混凝土立柱配筋为 4Φ8, 箍筋 Φ6@100, 顶板上覆土厚度为 1.2 m. 后加柱采用 100 mm×100 mm 木方柱, 木楔和橡皮垫固定, 柱间距为 40 cm, 后加柱的布置和量测仪器的布置如图 2 所示.

收稿日期: 2003-01-05; 修订日期: 2003-02-28

作者简介:王天运(1966—), 男, 河南省温县人, 总参工程兵科研三所高级工程师, 武汉理工大学博士研究生, 主要从事结构工程和防护工程研究.

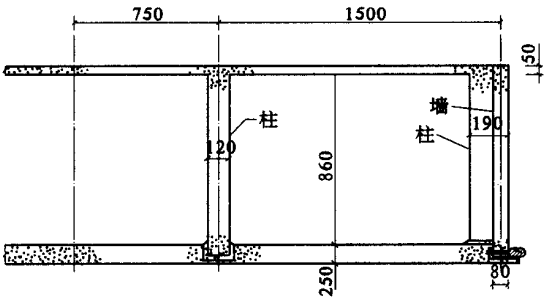


图 1 1/2 无梁板模型的剖面图
Fig. 1 Profile of the flat floor model

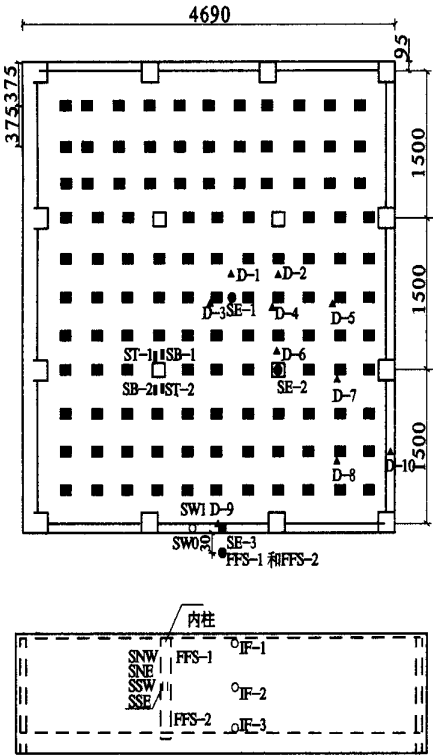


图 2 后加柱布置和量测仪器布置图
Fig. 2 Distribution of post reinforced columns and measuring apparatuses

2.2 试验结果与分析

2.2.1 木方柱加固主体结构

人防工程主体结构经木方柱加固后,顶板的抗弯承载力可大幅度提高.

水囊逐级加载试验的最大加载压力为 0.54 MPa,即无梁板经木方柱加固后可承受土表面 0.54 MPa 的加载压力,与 6 级人防工程的超压设计值 0.05 MPa 相比,承受的加载压力提高了 10 倍.本试验的目的之一是验证按 6 级人防工程顶板经木柱加固后抗 100 万吨 TNT 当量的核武器空中爆炸在某距离上产生的 0.35 MPa 超压峰值的能力,试验结果表明,顶板承受的最大加载压力与

0.35 MPa 仍有 0.19 MPa 的差值,这说明经木方柱加固后的无梁板能承受 0.35 MPa 的空气冲击波超压峰值.

原结构加固前内柱支承处的冲切力为^[3,4]

$$V_{前} \approx \frac{15}{16} q l^2,$$

式中: $V_{前}$ 为加固前冲切力; q 为等效荷载; l 为柱距.

采用 100 mm × 100 mm 的木方柱在 1/2 柱距位置进行加固,则加固后的冲切力为: $V_{后} \approx (q l^3) / 4$, $V_{后} : V_{前} \approx 1/3$,顶板承受的冲切大小减少到原来的 1/3,跨度减少为原来的 1/4,立柱处的冲切力和顶板弯矩值大幅减少,结构的承载能力就远远大于原有承载能力.

2.2.2 小尺寸构件的破坏

从工作性能来看,无梁板有两个主要弱点:一是在板柱节点处可能发生脆性的冲切破坏;二是抵抗节点两侧板中不平衡弯矩的能力较差,当一跨发生破坏后,会使邻跨相继发生破坏.冲切破坏面总是斜锥面,底部与柱(帽)边相连,斜面的倾角一般在 25°~45°左右.冲切破坏可分两种类型,一种是由初始弯曲裂缝逐渐形成倾斜的主拉应力裂缝,形成锥面而冲切破坏,破坏呈脆性;另一种是抗弯主筋先屈服,截面上的受压区砼高度不断减少,最后在剪力作用下突然发生冲切破坏.

图 3 为试验结束后拍摄的无梁板顶板的破坏情况.从图中可以清楚地看出:①四个混凝土柱顶上的板发生了局部剪切或断裂破坏,此破坏类型属于冲切破坏.②沿墙四周分布有较规则的负弯矩开裂线,右下开间沿后加柱布置方向也有一条开裂线,这表明此处后加柱的轴向刚度较大.

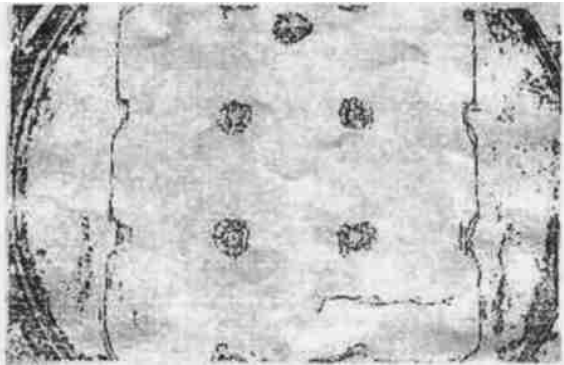


图 3 木柱加固后无梁板上表层的破坏情况
Fig. 3 Upper surface layer failure of flat floor after strengthened by wooden column

水囊逐级加载试验结果如图 4~10 所示.从图 9 板中受力钢筋的应变可看出,随着加载压力的增大,受力钢筋的应变的绝对值逐渐增大,当加载压力达到 0.21 MPa 后,板的受力钢筋的应变发

生了急剧的变化,突然由受拉或受压变为受压或受拉,且变化的绝对值较大,说明此时混凝土顶板受压区的混凝土被压碎,板中受压钢筋失去砼的

支承而压弯,受拉钢筋起拉索作用,内柱完全进入顶板中,内柱附近的顶板发生冲切破坏.

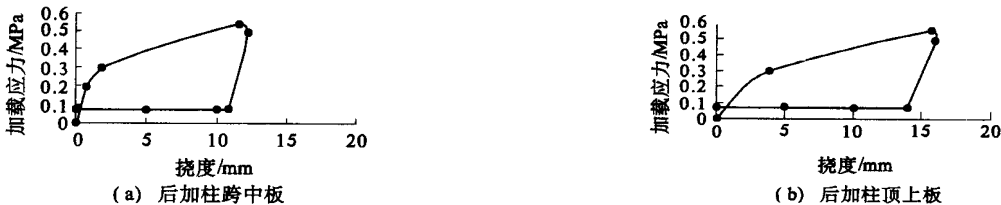


图 4 荷载—挠度曲线

Fig. 4 Relation curve between pressure and dñection



图 5 荷载—加载应力关系

Fig. 5 Relation curve between loads and pressure

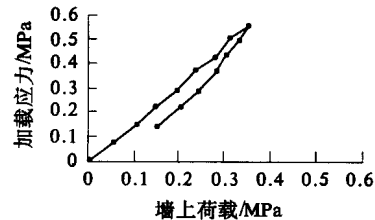


图 6 墙上荷载—加载应力的关系

Fig. 6 Relation curve between loads and pressure of the wall

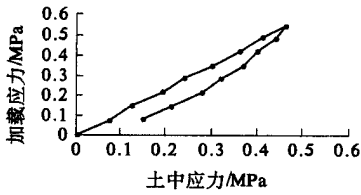
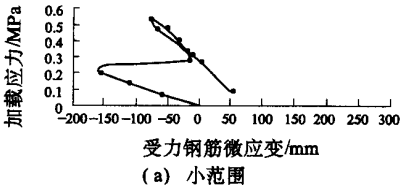
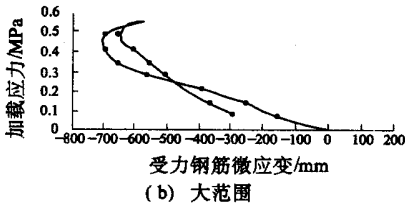


图 7 土中应力—加载应力的关系

Fig. 7 Relation curve between strain and pressure of the soil



(a) 小范围



(b) 大范围

图 8 内柱受力钢筋荷载—应变关系

Fig. 8 Relation curve between loads and deflection of the steel in constructing column

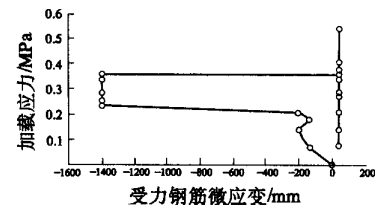


图 9 板中受力钢筋荷载—应变关系

Fig. 9 Relation curve between loads and deflection of the steel in the slab

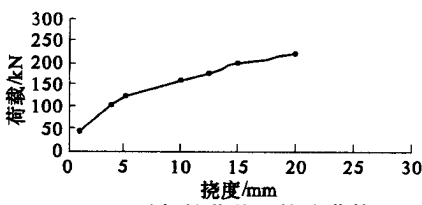


图 10 后加柱荷载—挠度曲线

Fig. 10 Relation curve between loads and deflection of the post reinforced column

2.2.3 土壤拱效应

土中浅埋钢筋砼构件在土中压缩波荷载作用下产生变形,并作整体沉降和运动;反过来,构件

变形(砼开裂和钢筋屈服)和整体沉降运动又使作用在构件表面上的压力荷载减少,这种土体中压力荷载与构件变形和整体沉降运动的相互作用相

当复杂.但是,引起加载后期构件跨中截面屈服的原因是构件变形引起构件上面覆土的二维效应,这种二维效应一般称为土壤拱效应.土壤拱效应不仅与应力波传播有关,还与覆土性质、覆土厚度、构件刚度和构件工作状态有关.本试验中采用砂土,覆土厚度为 1.2 m,由试验数据分析得知,存在土壤拱效应,引起构件表面压力荷载重新分布,跨中板表面压力减少,如图 5,6,7,8 所示.

加载压力为 0.28 MPa 时,混凝土内柱柱顶上的顶板表面荷载为 0.52 MPa,而位于两个后加柱之间跨中板上的荷载为 0.22 MPa,跨中板表面压力减少了近 25%,这验证了采用木柱加固后在复土厚度为 1.2 m 的土层中出现的拱效应.

2.2.4 后加柱与板的柔性连接

试验结果表明:砼柱附近板出现了冲剪破坏,但在后加柱附近并没有出现冲剪破坏.试验中,安装后加柱时,板与柱之间的连接采用木楔外裹橡皮垫的方法固定,板与柱的这种连接方式称之为柔性连接.柔性连接不仅满足了平战功能转换所要求的可靠性、经济性和时限性,而且由于板与柱的柔性连接,固定后加柱的木楔允许顶板在柱顶有较微小的位移,耗散了传递的部分能量,从而减少了冲击作用,使结构分布更为有利.但是,柔性连接要考虑到后加柱的轴向刚度匹配问题和柱与板的连接可靠性问题.

3 结论与建议

(1) 木方柱作后加柱加固人防工程主体结构

构,因其制作、安装、拆卸方便,不仅满足平战功能转换的强度要求,而且还能满足转换的时限和经济方面的要求,是主体结构加固的理想方法之一.

(2) 合理选择后加柱间距,可大大提高顶板的承载力.6 级人防工程顶板加固时,采用跨度的 1/4 作为后加柱的间距,可使顶板的承载力大大提高,能承受 100 万吨 TNT 当量核武器袭击所产生的超压峰值为 0.35 MPa 的空气冲击波作用.

(3) 土壤拱效应使得无梁板表面压力荷载重新分布,跨中压力减少,降低了板中的弯矩幅值,提高了顶板的承载力,但试验结果不适于刚性柱加固的结构或没有有效土层厚度覆盖的结构.

(4) 人防工程除了继续开展核爆冲击波作用下平战功能转换技术的研究外,还应重点进行防常规武器侵切、贯穿和内爆炸等破坏作用的主体结构加固改造技术的研究.

参考文献:

[1] 张小漪.“防空地下室及一般地下室临战时应急加固措施研究”的指导思想及成果综述[R]. 洛阳:总参工程兵科研四所,1992.
[2] 王天运.人防工程主体结构后加柱试验研究分析[D]. 武汉:武汉工业大学,1999.
[3] 陈肇元.人防工程无梁板的设计[R]. 北京:清华大学抗爆抗震工程研究室,1988.
[4] 冯仲文,冯 亮.人防工程平战功能转换是贯彻“结合”方针的重要科技措施[R]. 洛阳:总参工程兵科研四所,1992.

Wooden Column Reinforcing Methods on Main Structure in the People's Defence

WANG Tian -yun¹, SHEN Zu -wu¹, LIU Guo -qiang², LIU Shui -jiang²

(1.College of Civil Engineering & Architecture , Wuhan University of Technology , Wuhan 430070,China ; 2.The Third Academy of Corps of Engineers ,Luoyang 471023,China)

Abstract : The function conversion between the peace and the war about the people's defenses is one of the important ideas .Three main targets(trustiness ,speed and economy) must be satisfied .Post reinforced column technology is an effective method in boosting the level of resisting force .The wooden column is easily processed and fixed ,which has become one sort of post reinforced columns .The paper analyses relation between stress and strain on concrete and steel in three sorts of components(plate ,wall and column)and failure modes through water bursa loading experiments in purlinless roof structure .The results show that the wooden column can be applied to the reinforcement the main structure in the people's defenses .

Key words : the people's defenses ;function conversion between the peace and the war ;post reinforced column