

# 煤矸石矸空心砌块房屋加固研究\*

张正国 刘立新

(土建系)

**提 要:** 本文报道了煤矸石矸空心砌块危房的现场调查情况,详细分析了墙体开裂的各种原因。通过对三片砌体加固前后的试验研究,探讨了构造柱加固和钢筋网片砂浆层加固的效果,均得到了满意的结果。

**关键词:** 煤矸石矸; 加固

**中图分类号:** TU32; TU74

我国是一个产煤大国,在煤矿采掘过程中,不断排出大量煤矸石。据统计,目前我国年排矸石量近2亿吨,不仅占用大量农田,而且还污染大气、水源,影响矿区人们的健康。为解决煤矸石大量堆积所带来的一系列问题,世界各国都投入了较多的人力物力研究其开发利用。应用范围以建材为主,包括生产砖瓦、水泥、轻骨料、矸砌块、铸石,另外还从矸石中回收煤炭、用矸石筑路、烧制陶瓷等。我国早在建国初期就开始了煤矸石资源的开发利用工作。50年代开始用煤矸石生产水泥;60年代开始用煤矸石生产砖瓦、砌块,并建造了一批煤矸石产品的试验性建筑物;70年代,煤矸石综合利用达到高潮。许多地区建起了以利用煤矸石为主的建材生产厂,生产出大量煤矸石砖、瓦、砌块、墙板、楼板、梁、矿井支架、水泥等,建造了一批三至六层的煤矸石房屋。但是由于煤矸石建材产品的质量不稳定,煤矸石房屋的耐久性较差,并且科学研究工作跟不上。目前煤矸石建材生产几乎处于停滞状态。随着国民经济的迅速发展,在机械化采煤的情况下,我国煤炭产量大幅度增加,本已逐渐降低的矸石山又开始升高,与农业争土地,恶化环境的现象更加严重,从根本上解决煤矸石综合利用问题已成为当务之急。我们认为发展煤矸石建材工业的关键是保证煤矸石建筑物的安全可靠和经济耐用。而目前的迫切任务是对已建的煤矸石房屋进行合理加固,消除隐患,增强使用者的信心,为开辟煤矸石产品的市场,大力发展煤矸石建材工业铺平道路。同时使已有煤矸石房屋充分发挥使用功能,提高抗震能力,而避免灾难性事故发生。为此,我们针对鹤壁市房管局所管辖的八幢煤矸石矸小型空心砌块住宅建筑进行了调查,通过煤矸石砌体试验分析,提出了较为合理的加固方案。

## 1 现场调研总结

### 1.1 概况

被调查建筑物建造于1981年,共有八幢同类型房屋,除一幢为三层外,其它均为四

\* 收稿日期:1990-11-15

层。墙体材料为煤矸石砼小型空心砌块,用于住宅,居民早在数年前就反映墙体开裂问题。调查时发现部分墙体严重开裂,且开裂面积大,范围广,但规律性较强。所有房屋的顶层横墙两端均有1~3道斜向宏观裂缝和数量相当多的同方向微裂缝,所有砌块周围灰缝均有微缝穿透粉刷层,外观可看到砌块轮廓。位于建筑物两端的纵墙也存在类似裂缝。纵横向墙体主裂缝均呈台阶状,从内上向外下向发展,沿砌块灰缝裂开,大致半个砌块一个台阶。有代表性的砌块墙体开裂情况大致见图1~4,图中仅示出宏观裂缝。裂缝最大宽度达10mm以上,并随时间呈增长趋势。楼梯间横墙亦存在同样规律的裂缝。顶层开裂最严重的一幢四层房屋中,三层横墙也发现较细一些的裂缝,其走向规律与顶层相同,推知此类裂缝随时间增长将向下部楼层延伸。

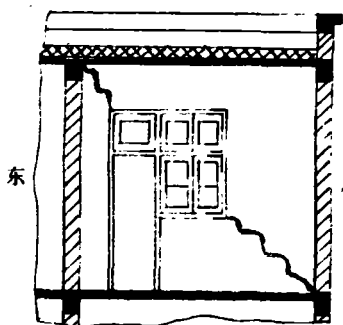


图1 顶层西户南纵墙

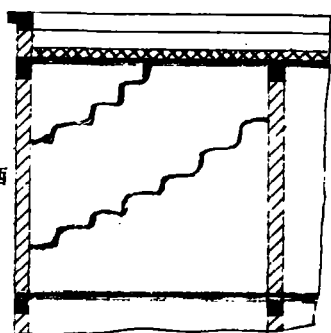


图2 顶层西户中纵墙

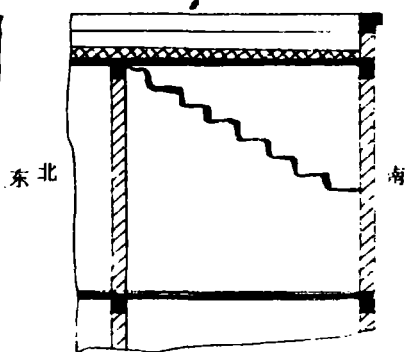


图3 顶层西单元分户横墙

据调研访问,全国各地煤矸石砌体建筑物均在不同程度上存在上述墙体开裂问题。

## 1.2 开裂原因分析

经初步分析,墙体开裂有如下原因。

1.2.1 屋面保温隔热层有缺陷,结构层产生过大的热胀冷缩变形而带动顶层砌体共同变形,因煤矸石砼空心砌块的空隙率较大(45.6%),砌块壁厚仅30mm,墙体砌筑时竖孔难于完全对中,上下层砌块间实体接触区宽度很小,灰浆不易饱满,砌体抗剪强度过低。屋面热胀变形时,墙体环境温度相对较低而被拉裂。屋面冷缩变形时,墙体并未能恢复原状。因而每一个胀缩循环均使裂缝增大或产生新的裂缝,缝宽随时间增长而增长。这是产生宏观台阶状缝的主要原因。

1.2.2 煤矸石砼空心砌块的成型条件可能造成收缩率较大而拉裂墙体。砌块成型前先将煤矸石粉碎至粉末状,加入适量水泥,渗水拌合后挤压成型,然后自然风干。由于粉末状煤矸石比表面积较大,吸水率很高,成型后又未经焙烧,因而砌块含水量较高,其砌体的失水干缩率必然较大,故此造成每个砌块四周均出现干缩微裂纹,破坏了砌体的整体性,灰缝抗剪强度急剧下降,一旦有水平力作用,便造成砌体进一步开裂。

1.2.3 煤矸石砼空心砌块的热胀冷缩性能目前未知,与钢筋砼屋盖相比,二者的热胀冷缩

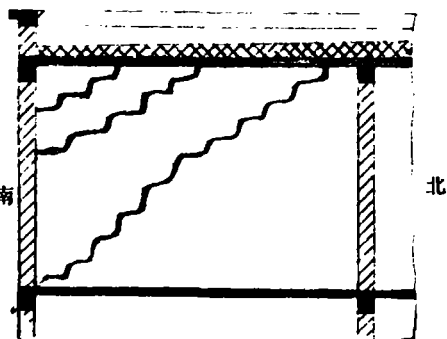


图4 顶层两户南间内横墙

系数差值较大时也会造成墙体开裂。

### 1.3 调查结论

根据现场调查分析可得出如下结论。

1.3.1 被调查房屋均系可加固危房, 其整体性较差, 如不及时采取适当加固措施, 现有墙体裂缝经数年发展后将延伸至所有楼层, 建筑物将最后失去整体性而倒塌破坏。如遇五至六度地震作用, 该批房屋将随时出现局部或整体破坏。

1.3.2 煤矸石砼空心砌块自身强度足够, 砌块单体抗压, 抗剪未发现任何潜在危险。

1.3.3 砌块房屋的墙体开裂主要由温度应力造成, 另外施工质量较差, 墙体灰缝不饱满, 孔洞率过大也是较重要的影响因素。

1.3.4 由于煤矸石砼空心砌块的各种力学性能目前研究还很不充分, 其砌体力学性能所知更少, 因而其加固措施需进行适当试验后确定。

## 2 砌体加固试验研究

### 2.1 试件设计

本试验重点解决加固方案及其效果。试验分两批进行, 第一批设计了图 5 所示三片墙体, 墙长 2m (5 块砌长), 高 1.72m (7 皮砌块加上盖和下卧钢筋砼梁), 两面无粉刷。上盖和下卧梁模拟圈梁。试验用砌块与原建筑所用砌块为同一批产品, 试验前曾用于砌筑围墙。砌筑砂浆设计强度 M7.5。试件编号 NW-1, 2, 3。

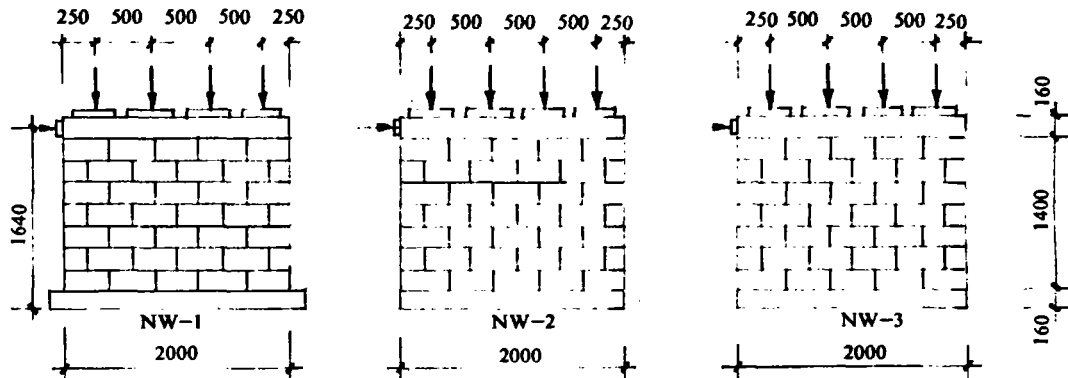


图 5 第一批试件

待三片未加固墙体试验完毕, 墙体出现宏观裂缝后, 采用三种方案加固, 作为第二批试件, 如图 6 所示。

试件 CWRW 原形为 NW-1, 采用两侧钢筋砼壁柱和双面钢筋网片抹 20mm 厚高强度砂浆共同加固; WRW 原形为 NW-2, 仅采用双面钢筋网片砂浆层加固; CRW 原形为 NW-3, 采用两侧壁柱加固。

墙面加固材料为双面双向  $\phi 6@200$  钢筋网片,  $\phi 6@400$  穿墙筋拉结。壁柱截面  $120 \times 180\text{mm}$ , 纵筋 4 $\phi 6$ , 箍筋  $\phi @240$ 。壁柱砼设计级别 C15, 墙面砂浆设计级别 M20。

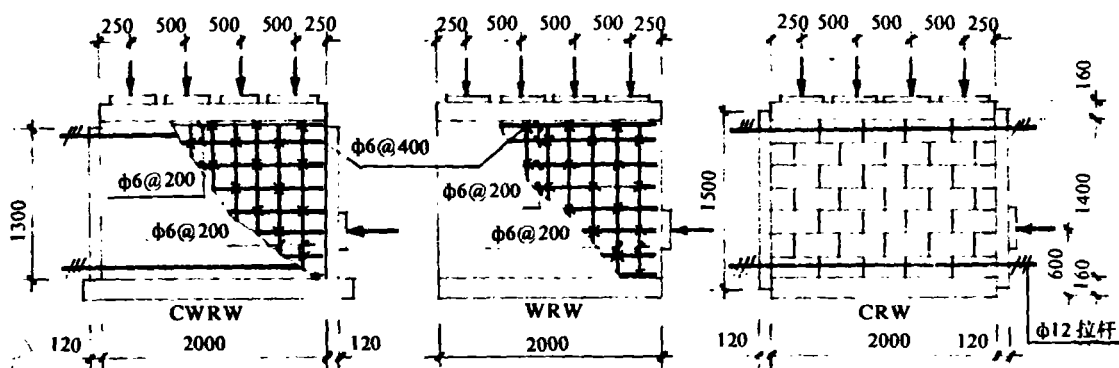


图6 第二批试件

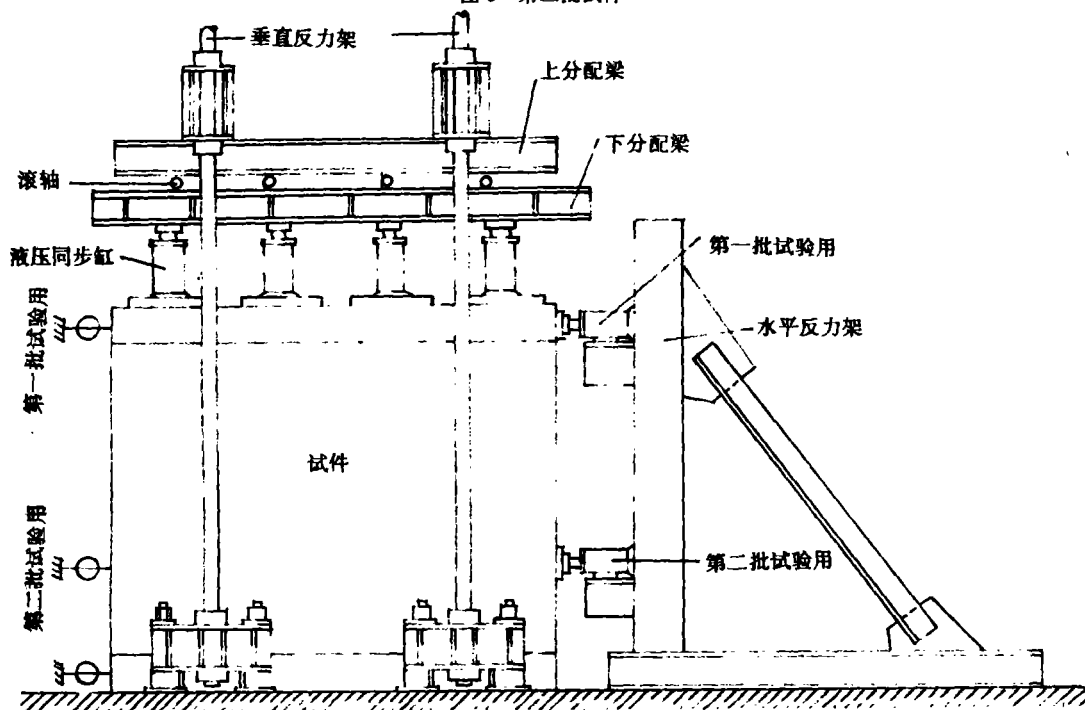


图7 加工系统

## 2.2 加载系统

实际结构中砌体的抗压能力比较可靠,其薄弱点仅在于水平灰缝抗剪能力不足。本试验主要考察砌体加固前后在水平荷载作用下的抗剪能力,而实际结构中的墙体心然受有竖向作用,因此心须设计一个合理的剪、压、弯联合加载系统。本试验所用加载系统示于图7。图中四强液压同步缸串联后连于稳压控制强,可保持恒定竖向荷载,通过刚度较大的钢垫板和钢筋砼上卧梁,模拟实际结构中墙体承担的永久荷载,上分配梁连于垂直反力架,下分配梁与液压同步缸及试件顶而保持相对位置不变,上下分配梁之间放置若干滚轴,保证试件在水平荷载作用下能够自由侧移。在水平力施加过程中,试件所受竖向荷载

始终不变, 随侧移变形发展, 仅两个垂直反力架的负荷比例相应变化。

### 2.3 加载程序

先一次施加竖向荷载, 每个竖向集中力控制为 8.8kN。该值是根据实际结构中横向承重墙所承担的最小竖向荷载确定的, 测墙体水平抗剪能力时, 它是最不利值。

分级施加水平荷载。第一批试件按正反两个方向分两次进行加载试验。加载点距墙底 1.64m, 作用于上卧梁形心。第一次待水平荷载加至墙体形成宏观裂缝, 且缝宽达 15mm 左右时停止试验。第二次反向施加水平荷载, 加荷至卸载阶段。第二批试件经加固处理后, 墙体抗剪能力显著提高, 如仍以上卧梁形心为水平加载点, 在高荷载下将产生砌体整体倾覆破坏, 因而将水平荷载下移至距墙底 600mm 处, 以造成加固后砌体主要受剪的受力机制。

用壁柱加固的试件, 采用上下各两根  $\phi 12$  钢筋作拉杆, 用于固定壁柱。加水平荷载前先张紧拉杆, 张紧力为 8.3kN (控制应变  $\varepsilon = 350\mu\epsilon$ )。

在每级水平荷载下测续水平荷载作用点处的墙体侧移值。

### 2.4 第一批试验结果

#### 2.4.1 试验现象

试件 NW-1: 砌筑砂浆实际强度 8.9MPa。正向加载当  $P = 14\text{kN}$  时灰缝出现微裂缝,  $P = 30\text{kN}$  时墙体宏观开裂, 形成沿灰缝的强阶形缝。继续加荷至  $P = 32\text{kN}$  时, 砌块断裂, 形成竖向通缝荷载急剧下降, 侧移不断发展, 反向加载  $P = 36.5\text{kN}$  以后变形迅速发展, 荷载基本不变。

试件 NW-2: 砌筑砂浆实际强度 7.4MPa。正向加载当  $P = 14\text{kN}$  时出现微裂纹,  $P = 35\text{kN}$  时墙体形成台阶形缝, 继续加荷至  $P = 38\text{kN}$  时砌块断裂, 形成竖向通缝, 荷载下降。反向加载当  $P = 14\text{kN}$  时砌体出现新的台阶形裂缝, 以后变形发展很快, 荷载缓慢增长到  $P = 34\text{kN}$ 。

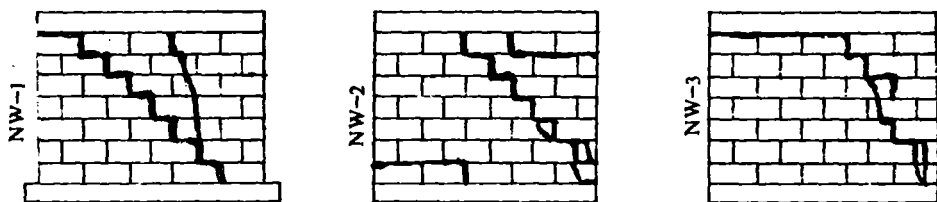


图 8 单向加载裂缝图

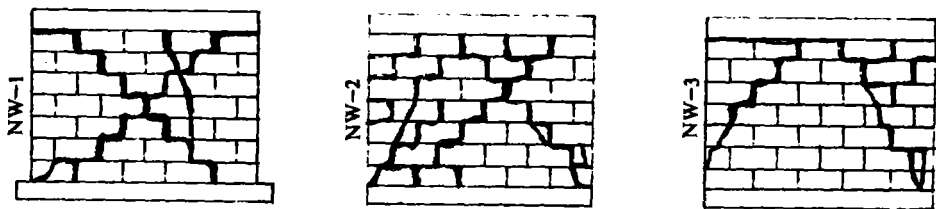


图 9 反向加载后裂缝图

试件 NW-3: 砌筑砂浆强度 8MPa。正向加荷当  $P = 14\text{kN}$  时墙体开裂,  $P = 30\text{kN}$  时

墙体形成宏观台阶形裂缝。继续加载至 36.5kN 时砌块断裂, 形成竖向通缝, 荷载下降, 这时侧移值已很大。反向加载当  $P=16\text{kN}$  时产生新的台阶形缝,  $P=36.5\text{kN}$  时砌体破坏。

试件正向加载后开裂情况示于图 8, 反向加载后合开裂情况示于图 9。其中以阶形裂缝规律与现场调查结果相似。

#### 2.4.2 荷载侧移关系

三个试件分别进行正反两个方向水平加载试验, 实测荷载与侧移关系示于图 10, 由此可归纳如下规律:

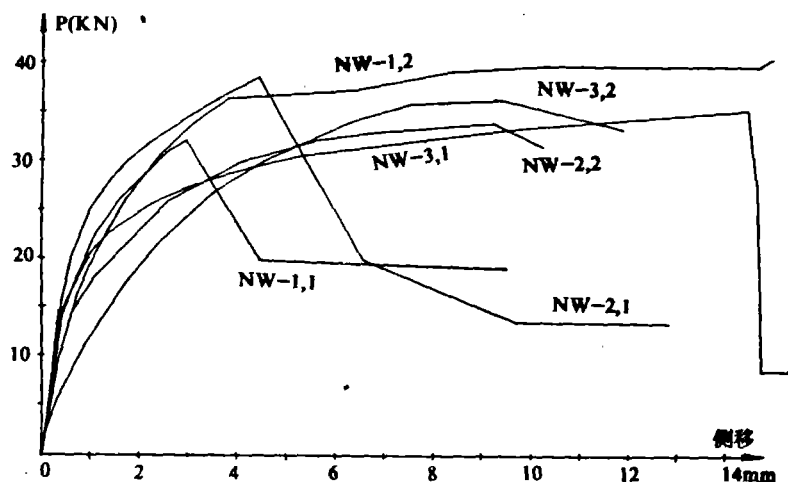


图 10 水平力—侧移关系

①正向加载时, 三片砌体的开裂荷载相等, 均为 14kN。开裂前的侧移值很小, 荷载与侧移近似为线性关系。

②砌体开裂后侧移刚度降低, 并且随裂缝发展, 侧移刚度逐渐下降, 荷载与侧移关系曲线逐渐平缓。

③形成宏观台阶形裂缝以后变形和裂缝增长很快, 并且在不大的荷载增量下即产生脆性的砌块断裂破坏, 因而应取形成台阶形缝时的水平荷载为砌体抗剪能力。本试验所得抗剪能力为: NW-1,  $P=30\text{kN}$ ; NW-2,  $P=35\text{kN}$ ; NW-3;  $P=30\text{kN}$ 。

④形成宏观台阶形缝以后, 沿墙长方向已经连通, 但砌体承载能力并不因此而降低, 说明摩擦力在抗剪能力中占主导地位。

⑤反向加水平荷载时, 由于砌体已处于开裂状态, 一开始加荷就产生较大侧移值, 刚度有所降低, 但抗剪能力并不显著低于初次加载, 再次说明砌体的抗剪能力主要是摩擦力起作用。

### 2.5 第二批试验结果

#### 2.5.1 材料性能

砼和砂浆分别采用 150mm 边长和 70.7mm 边长的标准立方试块, 在墙体试验时测取各自的强度。实测结果如下: 试件 CWRW, 左壁柱砼  $f_{cu}=18.3\text{MPa}$ ,  $f_c=0.76f_{cu}=13.91\text{MPa}$ ;

右壁柱砼  $f_{cu}=10\text{MPa}$ ,  $f_c=7.6\text{MPa}$ ; 抹面砂浆  $f_{cu}=21.96\text{MPa}$ 。试件 CRW, 左壁柱砼  $f_{cu}=16.7\text{MPa}$ ,  $f_c=12.69\text{MPa}$ ; 右壁柱砼  $f_{cu}=16.5\text{MPa}$ ,  $f_c=12.54\text{MPa}$ 。试件 WRW 抹面砂浆  $f_{cu}=26.4\text{MPa}$ 。壁柱箍筋  $f_y=397\text{MPa}$ ,  $f_b=612\text{MPa}$ 。

### 2.5.2 试验现象

砌体加固后, 侧移刚度显著增大, 而用钢筋网片砂浆层加固的试件效果最好。图 11 所示的加固墙体水平力与侧移关系清楚地反映了加固后的刚度效应。仅用钢筋网砂浆层加固的试件 WRW 刚度最大, 一直到破坏时侧移变形都很小, 其破坏发生于加载点下墙体的局部压碎, 同时加载点附近的加固层与墙体局部脱开, 大部分墙体无明显变形, 属于局压破坏。在实际结构中由于地震动和风力产生的水平荷载是分散作用的, 不存在局压问题, 因而用钢筋网片加固的墙体实际抗剪能力将更高一些。

仅用壁柱加固的试件 CRW 在荷载较低时侧移值基本为零。当水平力增大到 20KN 时, 壁柱与砌体之间的填充砂浆由于密实度不够而首先产生较大变形, 试件开始产生明显侧移, 但侧移与荷载近似为线性关系。当壁柱达到极限抗剪能力时, 荷载突然直线下降, 表现出脆性破坏性质, 壁柱在受剪段内发生斜裂破坏。

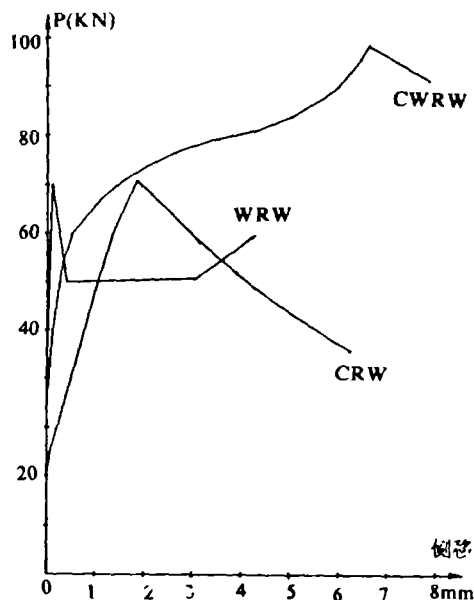


图 11 加固墙体水平力—侧移关系

同时用壁柱和钢筋网片加固的试件 CWRW 的初始刚度介于 CRW 和 WRW 之间。由于墙面加固造成墙柱接触面增大, 同时接触面上的填充砂浆更饱满, 因此一直到  $P=40\text{KN}$  时才开始产生明显侧移变形, 但侧移变形呈非线性发展, 开始变形较小, 介乎于 CRW 和 WRW 之间, 说明墙柱交界面上的填充砂浆起到了一个缓冲区的作用, 初始变形主要产生于该缓冲区, 因而变形值大于无此缓冲区的试件 WRW。但由于墙体用双面钢筋网砂浆层加固后刚度提高很多, 它也参与抵抗水平力, 因而其侧移值小于墙面未加固的 CRW。当壁柱接近极限抗剪强度时, 它将产生很大的剪切变形, 导致墙体承担绝大部分增加的荷载, 同时墙柱交接区内的填充砂浆也接近破坏, 侧移变形迅速发展。当填充砂浆被挤密实后, 墙体承担了更大部分的增加水平荷载, 侧移发展反而减缓。当壁柱被剪坏时, 墙体也基本达到极限状态, 总的抗剪能力可视为二者的迭加。

### 2.6 关于抗剪能力的讨论

2.6.1 三个未加固试件的抗剪能力比较接近, 也比较低。它们反映着实际结构中最不利受力墙体的抗剪能力, 其竖向荷载取值为半跨屋面恒载加女儿墙自重, 模拟, 端部山墙顶部实际受力状况。三片试件的平均抗剪强度为

$$\tau_u = \frac{(30 + 35 + 30) \times 10^3}{3 \times 2000 \times 190} = 0.083 \text{ MPa}$$

2.6.2 砌体开裂后基本不影响单位面积上的抗剪能力。三个未加固试件第一次加载达到极限时产生的卸载是由竖向形成通缝造成的。形成竖向通缝后, 由于实际受力面积骤减而使

荷载降低,降低程度与竖缝位置有关。竖缝离加荷点越远,受力面积越小,因而卸载后的残余荷载越低。残余荷载基本趋于稳定,又一次说明砌体抗剪强度主要是摩擦力提供的。

2.6.3 仅用壁柱加固的墙体抗剪能力约等于开裂后砌体抗剪能力与柱抗剪能力之和,CRW属此类,其实测抗剪能力为81kN。

由于壁柱受轴力很小,计算其抗剪能力时采用砼结构设计规范GBJ10-89关于受变构件斜截面抗剪计算的条文,即取  $P = 0.07f_c b h_0 + 1.5f_{yv} \frac{nak}{S} h_0$ 。这里取有效高度  $h_0 = 85\text{mm}$ ,则左右柱抗剪能力分别为

$$P_1 = 25.53\text{kN} \quad P_2 = 25.37\text{kN}$$

未加固时(NW-3)抗剪能力为  $P_3 = 30\text{kN}$ ,三者之和为  $P = 80.9\text{kN}$ ,约等于实测抗剪强度值。

2.6.4 仅用钢筋网片砂浆层加固的墙体WRW,抗剪能力由(NK-2)原35kN提高到80kN,加固层的抗剪能力为45kN,它相当于  $0.028f_c b h$ 。这里  $b$  为砂浆层总厚度40mm,  $h$  为砌体长度2000mm,  $f_c$  为砂浆按砼计算的轴心抗压强度  $0.76f_{cu} = 20.06\text{MPa}$ 。

2.6.5 同时用钢筋网片砂浆层和壁柱加固的墙体CWRW,其抗剪能力约为开裂砌体、壁柱和加固层砂浆的承载力之和。这里左、右壁柱抗剪能力分别为

$$P_1 = 26.83\text{kN} \quad P_2 = 20.08\text{kN}$$

墙体加固层砂浆强度  $f_c = 0.76f_{cu} = 16.69\text{MPa}$ ,取抗剪强度系数与WRW相同,则得加固层抗剪能力为

$$P_3 = 37.39\text{kN}$$

未加固时的抗剪能力为  $P_4 = 30\text{kN}$ ,诸项迭加得总抗剪能力  $P = 114.3\text{kN}$ ,比实测抗剪能力108kN偏高5.8%。

### 3 初步结论

经调查研究和实验分析,可初步得出如下结论。

3.1 煤矸石砼空心砌块砌体由于孔洞率过大,砌筑灰缝不易饱满,造成抗剪强度很低,甚至在一般温度应力作用下即可造成墙体严重开裂。为保证煤矸石空心砌块具有必要的抗剪能力,必须采取适当的构造措施。

3.2 为保证煤矸石砼空心砌块砌体的抗剪强度,可采取如下措施:

①用构造柱加强砌体的整体性,保证水平荷载较均匀地分布在整体结构上,避免局部受力集中,同时构造柱直接承担部分剪力。要求壁柱用钢筋或型钢拉杆定位。

②用双向钢筋网片抹砂浆层加固墙面,也可保证砌体的整体性,同时抹面层亦可直接承担水平剪力。要求加固层与砌体牢固结合。

③改变砌块形状,使其有利于抗剪。例如采用平放工形砌块,使得体内相邻砌块立体相交,利用砌块本体抵抗剪力;采用封顶孔型,孔轴铅直但不到砌块顶面,砌筑砂浆摊铺面积大,易满足饱满度要求,同时放置上层砌块后,砂浆挤入孔洞一部分,形成一系列销键,以增大水平灰缝的抗剪能力。

④对现有型号砌块,根据其大孔贯通的特点,应加强芯柱构造,每隔一定间距应有一



排孔插筋后通高填实砼,以加强整体抗剪能力。

3.3 用壁柱加固的砌体抗剪能力可近似用墙、柱抗剪能力之和表达。壁柱抗剪能力可利用砼结构设计范 GB10-89 中关于梁的斜截面抗剪强度条文计算。

3.4 用钢筋网片砂浆层加固的砌体抗剪能力亦可用砌体抗剪强度与砂浆层抗剪强度之和表达。砂浆层抗剪强度计算时应略去钢筋网片的作用,抗剪强度系数采用 0.028。砂浆强度等级由 70.7mm 边长标准立方体试块确定,其抗压强度取  $f_c = 0.76 f_{cu}$ 。

3.5 同时用壁柱和钢筋网片砂浆层加固的墙体,抗剪强度可近似按壁柱、砂浆层和砌体三者抗剪强度迭加计算。

## **Tightening Research about Perforated Waste Rock Concrete Laying—Cube Buildings**

Zhang Zhengguo Liu Lixin  
(Zhengzhou Institute of Technology)

**Abstract:** This paper reported factfinding results from a series of critical perforated waste rock concrete Laying—cube buildings. By tests on three walls before and after tightening, we studied the tightening effects of construction columns and plaster reinforced by steel bars net. Satisfactory results are obtained.

**Keywords:** waste rock concrete, Tightening.