

混凝土空心砖砌体房屋

杨伟军 胡庆国 著



中南大学出版社

混凝土空心砖砌体房屋

杨伟军 胡庆国 著

中南大学出版社

本书对混凝土空心砖砌体房屋系统的研究,介绍了混凝土空心砖砌体房屋的基本力学性能、受力变形性能、抗震性能,并附录了混凝土空心砖砌体房屋暂行技术规程等。

本书可作为从事房屋结构工程技术人员、研究人员、高等院校有关教师和学生使用。

TU522.3
Y1

图书在版编目(CIP)数据

混凝土空心砖砌体房屋/杨伟军,胡庆国著. —长沙:
中南大学出版社, 2004. 4
ISBN 7-81061-833-4

I. 混... II. ①杨... ②胡... III. ①混凝土—空心
砖—设计 ②混凝土—空心砖—砌体结构—结构分析
IV. TU398

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 022931 号

混凝土空心砖砌体房屋

杨伟军 胡庆国 著

☐责任编辑 程 滨

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路 邮编:410083

发行科电话:0731-8876770 传真:0731-8829482

电子邮件:csucbs @ public. cs. hn. cn

☐经 销 湖南省新华书店

☐印 装 中南大学金湘印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 11.25 ☐字数 278 千字

☐版 次 2004 年 6 月第 1 版 ☐2004 年 6 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 7-81061-833-4/TU·014

☐定 价 20.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

- [24] Pedreschi R. P., Sisti R. P. The stress/strain relationship of brickwork. Proceedings of the 6th IBMaC, Roma, 1992.
- [25] Walker P., Sisti R. P. The behavior of partially prestressed brickwork beams. Proceedings of the 6th IBMaC, Modena, 1992.
- [26] Looy R. E. A general stress-strain model for concrete. Conf., CSCE, 1991.
- [27] Dhanasekar M., et al. Stress-strain model for hollow concrete masonry under cyclic compression.

内容提要

本书对混凝土空心砖及其砌体进行了系统的研究,介绍了混凝土空心砖的基本情况和特点,对其可行性和效益进行了分析,研究了混凝土空心砖及其砌体的设计和基本力学性能、受力变形性能、物理性能、承载力、抗震等性能,并附录了混凝土空心砖的产品标准和混凝土空心砖砌体结构暂行技术规程等。

本书是作者多年从事混凝土空心砖及其砌体理论与试验研究工作的经验总结,并广泛吸收了国内外最新科研成果。

本书可供土木工程技术人员、科研人员和高等院校有关教师和学生使用与参考。

- [37] 刘伟庆,董竟成,沙安. 模数多孔砖墙体温度和变形.《集团设计》1999(12)
- [39] 田永刚,董竟成,沙安. 模数多孔砖墙体温度和变形.《集团设计》1999(12)
- [40] 肖明葵等. 求弹塑性位移谱的一种简化方法. 重庆:重庆大学,1999.
- [41] 杨. 五. 重庆大学,1999.
- [42] 叶献国,周锡元. 建筑结构地震反应简化分析方法的进一步改进. 合肥工业大学学报(自然科学版),2000(4).

NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. Reports FEMA(ballot version), Washington, D. C, 1996

- [44] Ahmad A. Hamid and Robert G. Drysdale. Proposed Failure Criteria for Concrete Block Masonry under Biaxial Stresses. Journal of the Structural Division ASCE, 1981(8)
- [45] Adrian W. page. Finite Element Model for Masonry. Journal of the Structural Division, ASCE 1978(8)
- [46] Andreaus U. Failure criteria of masonry panels under in-plane loading[J]. Journal of Structural Engineering, 1996(122)
- [47] Borchelt J. G. Analysis of Brick Walls Subject to Axial Compression & in-plane Shear. Proceeding of the 3th IBMaC, 1971

前言

加快新型墙体材料的发展是我国社会经济发展和实施可持续发展战略的必然要求。随着新型墙体材料研究工作的深入开展,各类满足节能、节土、利废要求的新型墙体材料不断涌现。混凝土空心砖强度高,在砖的表面上排列着垂直于砖大面的小孔洞,既增强了砖的隔热保温性能,又有助于减轻墙体的自重,同时又不会影响管线的暗埋。其尺寸规格与粘土实心砖相似,砌筑简单,有利于推广。同时采用混凝土空心砖还有助于解决混合结构房屋中因为屋盖、楼盖、砖墙各自材料的不同引起的裂缝。因此,混凝土空心砖及其砌体的研究和应用具有明显的社会效益和经济效益。作者在多年从事混凝土空心砖及其砌体理论与试验研究工作的基础上,吸收国内外该领域的最新科研成果,写成了本书。

本书共七章。绪论从材料、生产、施工、设计、建筑性能、结构性能、经济和社会效益各个方面对混凝土空心砖房屋进行了阐述。第一章阐述了混凝土空心砖产品的设计方法和设计成果。第二章研究混凝土空心砖及其砌体的基本力学性能。第三章研究混凝土空心砖砌体的受力变形性能。第四章研究混凝土空心砖及其砌体的物理性能。第五章研究混凝土空心砖砌体受压承载力。第六章研究混凝土空心砖砌体抗震承载力,探讨了混凝土空心砖砌体的抗震性能。附录列出了《混凝土空心砖产品标准》、《混凝土空心砖砌体结构暂行技术规程》和《混凝土空心砖砌体房屋构造图集》。

长沙理工大学部分同事和长沙市新型墙体材料办公室的领导以及研究生禹慧、田俊杰、殷明娟和高群参与了本书的大量研究工作,谨表感谢!

衷心感谢长沙理工大学出版基金、长沙市新型墙体材料发展基金的资助!

本书试图起到抛砖引玉的作用,使该方面的研究能有较大的进展,为国家经济建设做出贡献。若如此,作者将不胜荣幸。

限于作者水平,书中难免有不妥之处,恳请有关专家和广大读者批评指正。

作者

2003年8月于长沙

(08)		1.0
(40)		2.0
(001)		3.0
(E01)		1.0
(III)		2.0
绪论		(1)
0.1	混凝土空心砖的基本情况	(2)
0.2	混凝土空心砖的生产及其特点	(2)
0.3	混凝土空心砖的结构可行性分析	(5)
0.4	混凝土空心砖在房屋使用中的可行性	(6)
0.5	混凝土空心砖在施工中的可行性	(9)
0.6	混凝土空心砖的经济效益分析	(10)
0.7	混凝土空心砖的社会效益分析与市场发展前景	(12)
第一章	混凝土空心砖的块型及孔型设计	(14)
1.1	引言	(14)
1.2	混凝土空心砖的块型设计	(14)
1.3	混凝土空心砖的孔型设计	(15)
1.4	结论	(23)
第二章	混凝土空心砖及其砌体基本力学性能	(24)
2.1	材料性能试验	(24)
2.2	混凝土空心砖砌体抗压强度研究	(31)
2.3	混凝土空心砖砌体抗剪强度研究	(40)
2.4	混凝土空心砖砌体弯曲抗拉强度研究	(47)
2.5	混凝土空心砖砌体基本力学性能指标研究结论	(52)
第三章	混凝土空心砖砌体受力变形性能	(54)
3.1	砌体受压本构关系理论研究	(54)
3.2	混凝土空心砖砌体的受压应力-应变曲线	(61)
3.3	混凝土空心砖砌体的弹性模量与泊松比	(63)
3.4	混凝土空心砖砌体受剪变形	(65)
第四章	混凝土空心砖及其砌体物理性能	(67)
4.1	混凝土空心砖的块体密度、吸水率	(67)
4.2	混凝土空心砖的干缩	(69)
4.3	混凝土空心砖的耐久性	(71)
4.4	混凝土空心砖的热工性能研究	(74)
4.5	混凝土空心砖墙体的隔声性能研究	(78)
第五章	混凝土空心砖砌体承载力	(84)
5.1	混凝土空心砖砌体承载力理论分析	(84)
5.2	混凝土空心砖砌体承载力试验研究	(85)
第六章	混凝土空心砖墙体抗震性能	(89)

6.1 引言	(89)
6.2 混凝土空心砖墙片的抗震性能试验	(94)
6.3 混凝土空心砖墙体的抗震抗剪承载力	(100)
附录1 混凝土空心砖产品标准	(103)
附录2 混凝土空心砖砌体结构暂行技术规程	(111)
附录3 混凝土空心砖砌体房屋构造图集	(138)
参考文献	(172)
(5)	点群其又气主的部心空土砖 2.0
(6)	得代封行可的部心空土砖 3.0
(7)	封行可的中用封里奥齐部心空土砖 4.0
(8)	封行可的中工部心空土砖 2.0
(10)	得代益效将的部心空土砖 2.0
(12)	景前奥发部市已得代益效会封的部心空土砖 7.0
(41)	十封里开又里奥的部心空土砖 章一第
(41)	言 1.1
(41)	十封里奥的部心空土砖 2.1
(21)	十封里开部的部心空土砖 3.1
(23)	封 4.1
(42)	封封学代本基本奥其又部心空土砖 章二第
(24)	奥封封封林 1.2
(13)	奥封奥里丑封封奥部心空土砖 2.2
(40)	奥封奥里奥封封奥部心空土砖 3.2
(47)	奥封奥里丑封封奥部心空土砖 4.2
(25)	封封奥封封封封封学代本基本奥部心空土砖 2.2
(24)	封封封变代受封奥部心空土砖 章三第
(42)	奥封封奥系关封本丑受封奥 1.3
(61)	奥曲变丑 - 代丑丑受封奥部心空土砖 2.3
(63)	出封封已量封封奥部心空土砖 3.3
(26)	封变奥受封奥部心空土砖 4.3
(61)	封封奥封封奥其又部心空土砖 章四第
(61)	率水奥, 奥密封奥的部心空土砖 1.4
(66)	奥干部的部心空土砖 2.4
(17)	封入奥部的部心空土砖 3.4
(47)	奥封封封工奥的部心空土砖 4.4
(87)	奥封封封封封封封封部心空土砖 2.4
(48)	代奥承封奥部心空土砖 章五第
(48)	得代封奥代奥承封奥部心空土砖 1.2
(28)	奥封奥封代奥承封奥部心空土砖 2.2
(68)	封封奥封封封部心空土砖 章六第

绪 论

江泽民总书记指出,面向新世纪,我们“必须始终坚持把控制人口、节约资源、保护环境放在重要战略位置”。加快新型墙体材料的发展是我国社会经济发展和实施可持续发展战略的必然要求。随着墙改工作的深入开展,各类满足节能、节土、利废要求的新型墙体材料不断涌现,并在实践中不断完善与改进。这对提高建筑工程质量、改善建筑功能、美化我们的生活和工作环境发挥了巨大作用。所谓新型墙体材料是指节能、节土、利废、保护环境、改善建筑功能的墙体材料,取代能耗高、占地毁田和建筑性能差的实心粘土砖,即生产原料、生产工艺、材料性能以及施工方面的创新。墙体材料在技术含量上的不断提升及新品种上的进一步开发已经成为一种必然的发展方向。

但目前新型墙体材料存在着一些问题与不足之处,适用的承重类新型墙体材料产品相对缺乏。目前在工程建设中承重类新型墙体材料使用最广泛的是小型混凝土空心砌块,这种产品与传统墙材相比,虽在保护土地与环境,减轻建筑物自重,降低造价等方面具有优势,但在施工和使用过程中仍存在许多问题:埋设管线困难;尺寸较大,在实际施工中竖向灰缝很难密实,影响了墙体的正常使用;墙体易开裂和渗漏;保温隔热性能较差等。其他主要使用的承重墙体材料如粘土空心砖,虽然其施工与使用均满足要求,但由于其生产过程中仍需毁坏一定的土地资源,并且生产能耗较高,因此不符合节土、节能的要求。还有如灰砂砖虽然满足环保的要求,但其抵抗流水冲刷的能力较低;并且存在与砂浆粘结能力差,砌体的抗剪强度低等缺点。正是由于承重墙体材料存在以上的问题,从而严重阻碍了新型墙体材料的推广应用。

混凝土空心砖强度高。在砖的表面上排列着垂直于砖大面的小孔洞,既增强了砖的隔热保温性能,又有助于减轻墙体的自重,同时又不会影响管线的暗埋。其尺寸规格与粘土实心砖相似,砌筑简单,有利于推广。同时,采用混凝土空心砖还有助于解决混合结构房屋中因为屋盖、楼盖、砖墙各自的材料不同而引起裂缝的问题。

混凝土砖的生产及应用已有多年的历史,但是长期以来都是将其作为路面砖及其他装饰用砖来进行生产和使用的,并且产品主要是以实心混凝土砖产品为主。用混凝土空心砖作为承重墙体材料最近几年才逐渐受到人们的关注,目前主要处于产品性能及应用的研究阶段,还未开展对于混凝土空心砖结构体系的系统研究。但由于混凝土空心砖作为承重墙体材料具有其他新型墙体材料无法比拟的优势,所以其必将成为新型墙体材料一个新的发展方向。上海市作为全国新型墙体材料应用比例最高的城市,已敏锐地意识到了这一点,在上海市墙体材料革新“十五”规划中就明确提出将混凝土空心砖作为“十五”期间上海市承重墙体材料的主导产品之一来大力推广应用。随着墙改工作的不断前进,混凝土空心砖将会与混凝土小型空心砌块一道成为未来承重新型墙体材料的两大主导墙体材料之一。

因为混凝土空心砖具有其他新型承重墙体材料所无法比拟的优势,许多省市都把它作为重点开发的一种新型墙体材料,通过对它的系统研究,把混凝土空心砖应用到砌块建筑墙体中,改善了新型墙体材料建筑墙体的工作性能,推动了墙体材料改革的发展,其研究成果具有明显的社会效益和经济效益。

0.1 混凝土空心砖的基本情况

混凝土空心砖是在混凝土空心砌块得到广泛应用的基础上,并结合实际工程中的大量经验教训研制的新型墙体材料。从某种意义上说,它是小型化的混凝土空心砌块,但同时又具有实心粘土砖的特点。混凝土空心砖在尺寸上与目前应用的粘土多孔砖、粘土空心砖相同,符合统一的模数化标准。在取材及生产工艺上与混凝土空心砌块(标准尺寸 $390\text{ mm} \times 190\text{ mm} \times 190\text{ mm}$)类似,单块质量和体积比空心砌块要小,工人用一只手就可拿起来砌筑。其外观尺寸较粘土实心砖规则很多,因为空心砖同砌块一样是机器化一次性压制成型,施工中减少了抹灰找平砂浆厚度,同时也不像粘土砖那样有较高废品率,造成很大的浪费。混凝土空心砖还可以作成各种颜色而砌成清水墙,兼具美观和使用的效果。

混凝土空心砖是由石屑、细石、黄砂、水泥以及外加剂(其中粗集料 $\leq 10\text{ mm}$),按一定比例经机械成型、养护而成的块材。一般养护龄期为 28 d 。空心砖主要尺寸为 $240\text{ mm} \times 115\text{ mm} \times 90\text{ mm}$,每块重 $3.8 \sim 4.4\text{ kg}$,平均容重 $1680 \sim 1780\text{ kg/m}^3$,孔洞布置为双排错位六孔,铺浆面为盲孔,即一面有 6 个孔另一面为平面;孔状为矩形孔,转角处采用圆弧进行过渡;上下孔洞为错排布置,孔洞率约为 30%。具体尺寸如图 0-1 所示。

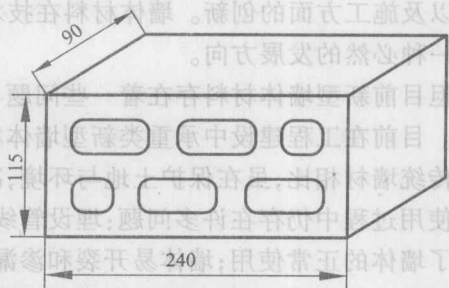


图 0-1 混凝土空心砖尺寸

就外观尺寸而言,空心砖错孔排列,使其肋桥加长,有助于结构的保温隔热与隔声性能。

混凝土空心砖既保留了传统材料砖结构取材广泛、施工方便等特点,又拥有新型墙体材料节能、节土、利废的优点,同时还弥补了目前应用的各种墙体材料的一些缺陷及不足。混凝土空心砖作为新型墙体材料,就尺寸、规格和单块强度等完全符合现行国家标准的要求,符合国家墙改的政策要求,具有很大的自身优势,因此混凝土空心砖必将成为未来一种极具竞争力的建筑墙体材料。

0.2 混凝土空心砖的生产及其特点

0.2.1 生产工艺简单,容易操作

混凝土空心砖的生产工艺与混凝土空心砌块相似,都是机器化生产线,一次压制成型,甚至可以将砌块的生产模具相应做些调整即可。上海、福建和湖南等地有专门的成套设备。而粘土砖的烧制过程损耗较多,人为因素影响较大,不利于工业化大生产的要求。值得注意的是混凝土空心砖因其肋较薄,对材料的级配要求较为严格,这就需要生产单位严格控制粗级料的直径,即粗级料最大直径 $\leq 10\text{ mm}$ 。混凝土空心砖的生产工序少,原料处理简便,空心砖用成型机成型,半成品及产品的转运、堆放易于采用轻便机械,因而劳动生产率较高。据各地的资料统计,因生产规模、机械化程度

和管理水平不同,工人劳动生产率为 $600 \sim 900 \text{ m}^3/(\text{人} \cdot \text{年})$,同国内粘土砖的工人劳动生产率(按每人每年平均为 12 万块标准砖计)相比,则高出 2~3 倍。

混凝土空心砖由于其原料费用低(仅水泥价格较贵,但水泥用量少);生产设备少,动力费用少;劳动生产率高,人工费用少;固定资产投资少,折旧摊销费用少等有利条件,故其生产成本低。根据各地物价水平、混凝土空心砖生产工艺、工厂生产规模及管理水平的不同,每 1 m^3 砌块的生产成本一般为 35~50 元。按相当体积的产品对比,混凝土空心砖的生产成本大体上同粘土砖的生产成本是不相上下的。对一些燃料价格高、粘土砖缺乏的地区来说,混凝土空心砖的生产成本可低于粘土砖的生产成本,销售利润比粘土砖要好。

新型墙体材料发展困难的主要原因之一,是从建厂到产品销售的各个环节在经济效益上都难以同粘土砖抗衡。而混凝土空心砖同粘土砖相比却具有相当的竞争力。

混凝土空心砖厂同粘土砖厂相比(只推算生产车间,包括土建及设备),年产 2 万立方米混凝土空心砖车间的建设投资约需 30 万~40 万元(自然养护)。大体上,混凝土空心砖单位产品的建设投资约为粘土砖单位产品的建设投资的 50% 左右。

建设混凝土空心砖厂,由于其生产工艺较简单、生产设备较少、土建设施较轻便、无需原料矿山等,故其建设周期较短,在正常情况下,合理工期为 2~9 个月(视工厂生产规模大小及混凝土空心砖养护方式而异),这对提高投资效益是十分重要的。

0.2.2 保护耕地,节约能源

迄今为止,我国建房所用的墙体材料主要是粘土实心砖。生产粘土砖要耗费大量的粘土做原料。虽然,国家极力提倡利用山土、河泥制砖,限制和禁止毁坏耕地,但是仍有相当数量的粘土砖是毁田取土生产的。按全国有 $1/3$ 的粘土砖系毁田取土生产来推算,每年因烧砖取土而毁坏耕地约 15 万亩,每年因此减产粮食约 6 000 万吨,约为 30 万人一年的口粮,这一事实是触目惊心的。我国人口多、耕地面积少,人多地少的矛盾日益尖锐,按全国现有耕地约 14 亿亩计算,我国人均耕地仅 1.1 亩多,这样的人均耕地占有量在世界各国中是相当低的。耕地是难以再生的资源,年复一年地大量毁田烧砖,不但不符合保护耕地的基本国策,还贻害子孙后代。

既要解决建设所需的墙体材料,又要减少烧砖毁田的危害,出路在于发展少用粘土或不用粘土的新型墙体材料。改造部分粘土砖厂,使之生产粘土空心砖和粘土多孔砖是节约粘土的一种办法,但是,这种办法节约粘土的比例一般只能达到 20%~40%,最彻底的办法是发展完全不用粘土的新型墙体材料。混凝土空心砖是其中之一,与传统的粘土实心砖、多孔砖、空心砖相比,混凝土空心砖与混凝土空心砌块一样,其生产过程不毁坏耕地,防止水土流失。因此,大力发展混凝土空心砖生产,能大幅度地取代粘土砖,从而有效地保护耕地。

我国是能源相对贫乏的国家,能源是制约我国经济发展的一个重要因素,解决能源不足的问题必须是开发与节约并重。粘土砖的生产能耗很大,每生产 1 万块粘土实心砖平均耗标准煤 1.3 吨,按生产粘土砖 4 700 亿块计,每年全国烧砖耗标准煤约 6 000 万吨。这一能耗约占当年建筑材料生产总能耗的 55%,约占当年全国煤炭总产量的 5%。仅此一种产品就要耗费国家这样多的能源,这是国家难以长期承受的。随着国家经济建设的发展和人民生活水平的提高,城乡房屋建设及其工程建设在相当长的时期内有增无减,对墙体材料的需求量越来越大,耗能高的粘土砖必将尽量用耗能低的新墙体材料取代,取代的份额越多越好。

实践表明,能大量取代粘土实心砖又能大幅度节能的新型墙体材料首推混凝土制品,与混凝土空心砌块一样,混凝土空心砖兼有的这两个特点在迄今已有的诸种新型墙体材料中还不多见。混凝土空心砖的生产能耗主要由混凝土原材料的能耗及其加工过程中的能耗两部分所组成。前者约占总能耗 65%~95%。混凝土的原材料能耗主要是所用水泥的能耗,而水泥在混凝土诸成分中所占份量很少,绝大部分是能耗几乎可以忽略不计的集料(人造轻集料例外)。按每 1 m^3 混凝土空心砖平均用水泥 140 kg 计,其能耗约 22 kg 标准煤。混凝土空心砖加工过程所需能耗,则主要依其养护方式而异:自然养护方式,每 1 m^3 混凝土空心砖约耗标准煤 1 kg;蒸汽养护方式,每 1 m^3 混凝土空心砖约耗标准煤 12 kg。总计,每 1 m^3 混凝土空心砖生产能耗为 23 kg 标准煤(自然养护)或 34 kg 标准煤(蒸汽养护)。每生产 1 m^3 体积的粘土砖需消耗 91 kg 标准煤相比,混凝土空心砖比粘土实心砖可节能 75%~63%。应该指出,我国各地混凝土空心砖多以自然养护方式生产,因此,混凝土空心砖取代粘土实心砖的总体节能效果估计为 73%左右,节能的幅度相当可观。同时由于煤耗减少,相应减少了粉尘、二氧化碳、二氧化硫的排放,从而达到保护环境的目的。

0.2.3 取材广泛,便于大规模推广

混凝土空心砖的原料主要是水泥和集料。这两种原料的资源都很丰富,而且是地方性资源。

就水泥而论,1991 年我国地方水泥产量达 2 亿吨以上。生产混凝土空心砖一般对水泥的标号要求不高,所有合格的地方水泥都是适用的。地方水泥的发展为大量生产混凝土空心砖提供了物资条件,而大量发展混凝土空心砖又为地方水泥提供了广阔的市场。

混凝土空心砖生产所用的大量集料,主要是遍布各地的碎石、卵石、山砂、河砂以及其他天然轻集料,符合大宗建筑材料就地取材的原则。我国为多山、多河流的国家,全国大部分地区砂石资源丰富,现有的混凝土生产企业就可满足要求。

因此,混凝土空心砖在应用过程中不会像灰砂砖、粉煤灰砖等新型墙体材料那样受到地域限制。我国是世界水泥生产大国,这些都成为生产混凝土空心砖的优势条件。同时,间接的经济效益也很明显,混凝土空心砖生产可以带动一批相关产业的壮大发展,而且自身易于形成规模化生产,使成本大幅降低,增强混凝土空心砖的市场竞争力。

0.2.4 吃渣利废,维护生态环境

生产混凝土空心砖还可大量利用许多工业废渣。由于加工混凝土空心砖所用的混凝土要求的标号一般不高,在水泥中可以掺用部分有活性的工业废渣作混合材,特别是加工混凝土空心砖所用的混凝土的集料,可以大量采用煤渣、自燃煤矸石及其他性能稳定的多种冶金废渣,这对综合利用工业废渣和保护环境有积极的作用。

生产混凝土空心砖可根据不同的用途,按一定比例加入粉煤灰、铁渣、煤矸石等工业废料,减少这些废料对周围环境的危害。同时,如有必要的话,可适当加入外加剂制成各种颜色的空心砖,砌成清水墙。

混凝土空心砖的生产工序是其性能指标的重要保证,不可忽视的是空心砖对水泥和骨料的品质要求,强度是其结构施工、使用的前提保障。总之,生产方便以及保护耕地、吃渣利废等优势为空心砖在工程上的可行性提供前提保证。

0.3 混凝土空心砖的结构可行性分析

现代砌体结构中砌块的强度等级要求不小于 MU3.5,而一般都在 MU5.0 以上,特别在国内外建造砌体房屋都要求较高的强度等级。与国外相比,我国的砌体结构应用范围有很大差别,在国内的砌体结构一般是用于七层以下的多层建筑。而在国外的中、高层建筑中大量使用砌体结构,砖墙承重的房屋普遍达到 10 层以上,甚至 20 层以上。造成这种差距的一个重要原因是国内的墙体材料与国外相差很大。目前国内的墙体材料抗压强度一般为 5.0~20 MPa,而国外的墙体材料抗压强度一般为 30~60 MPa,甚至高达 100 MPa 以上。可见,有效提高墙体材料的性能指标,特别是强度等级,是提高墙体整体性和稳定性的前提。

混凝土空心砖及其结构体系具有较好的力学性能,混凝土空心砖的抗压强度主要取决于其混合料的成分(特别是胶结料的含量)、捣实(或加气)的程度,而减少依赖于集料的种类和正常的养护。就混凝土空心砖而言,其块体高度较高,增加了截面抵抗矩,对提高墙体的抗压强度有益。一般来说,对于给定的材料,混凝土空心砖的强度随其密度的提高而提高。研究表明:砌体在均匀受压时,砌体内的砖块并不处于均匀受压状态,而是处于一种复杂受力状态,受到较大的弯曲、剪切和拉应力的共同作用。所以砖砌体的破坏不是砖先被压坏,而是砖受弯、受剪和受拉破坏的结果。从砌体的应力状态分析可见,砖形状的规则程度、水平灰缝的均匀性、饱满程度对砌体强度的影响很大。混凝土空心砖是采用机械化成型生产,其形状比粘土实心砖规整,能够保证砂浆铺砌层的均匀性,从而使砖受压比较均匀,继而砌体强度也有所提高。作者的研究表明^[1],同等级的块材和砂浆,混凝土空心砖砌体抗压强度远高于粘土砖砌体,低于混凝土小型空心砌块砌体。

混凝土空心砖的铺浆面采用的是全盲孔设计,砂浆与空心砖之间可形成“栓柱”(如图 0-2 所示),因此可以避免普通多孔砖、实心砖(铺浆面为通孔)经常出现的“漏浆”现象,从而保证砂浆铺砌层的饱满程度,这样使砖受压比较均匀,强度也有所提高。“栓柱”的形成可有效提高结构的抗剪强度、整体性和稳定性。研究表明混凝土空心砖砌体的抗剪强度值要明显高于粘土实心砖砌体,造成这个结果的主要原因是由于砂浆“销栓”的作用。实际上砂浆的销栓作用对于砌体的抗剪强度的提高贡献很大,试验表明用同一标号的砖或砌块和同一标号的砂浆,混凝土空心砖的抗剪强度是粘土实心砖抗剪强度的 1.408 倍,是混凝土空心砌块砌体抗剪强度的 2.551 倍,从而保障混凝土空心砖房屋的强度和安全性。

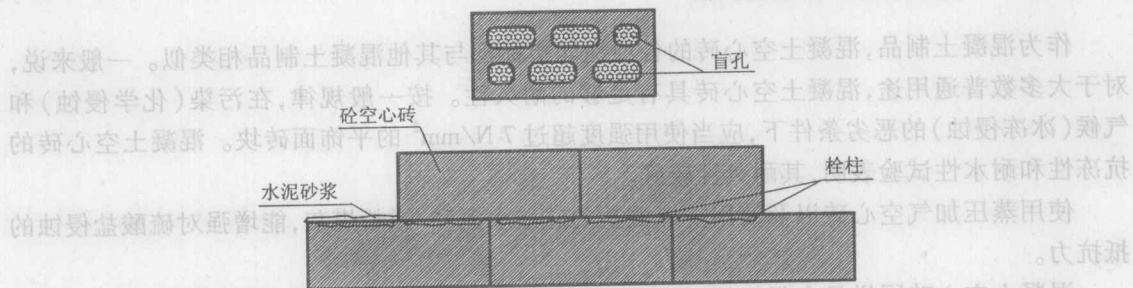


图 0-2 砂浆与混凝土空心砖之间的“栓柱”

混凝土空心砖的尺寸,尤其是高度对其抗压强度的影响也较大。当砖的高度增长时,其截

面面积和抵抗矩也增大,从而相应提高了块体抗弯、抗剪、抗拉等应力的能力,提高了砌体的抗压强度。混凝土空心砖的高度大于粘土砖(53 mm),故其抗压强度比粘土实心砖有较大提高。实验表明,用同强度等级的混凝土空心砖与粘土实心砖砌筑 240 厚的墙体,抗压强度混凝土空心砖为粘土砖的 1.67 倍,近 1.7 倍,可见混凝土空心砖的优越性。同时笔者认为:混凝土空心砖的高度 90 mm 适中,它不仅可有效提高其抗压强度又可以避免像混凝土空心砌块 190 mm 高那样,由于厚度过高而使块体在受力时容易发生孔壁的失稳破坏。影响混凝土空心砖强度的因素较多,水泥品种和骨料的性质是主要影响因素。不同品种水泥生产的混凝土空心砖强度的变化规律都是早期强度低者,后期强度增长较大。就骨料而言,一般采用坚硬花岗岩做成的表面粗糙而带棱角的骨料比普通碎石及偏石状、针状骨料生产的混凝土空心砖强度高。水灰比(W/C)也是影响混凝土空心砖强度的一个重要因素,水灰比的影响与密实程度有关,在一般密实情况下,水灰比愈大,混凝土空心砖抗压强度愈小。在最优水灰比下获得最大强度以后,若水灰比继续降低,强度反而会下降;通过改变配合比及掺加外加剂的方法,也可大幅度提高其抗压强度,而养护龄期、试验方法以及孔洞几何形状等因素同样可影响混凝土空心砖强度。

作者的研究表明^[1],混凝土空心砖的其他结构性能也较好。其弯曲抗拉强度高于粘土实心砖。混凝土空心砖的耐久性较好,其抗冻性和耐水性试验表明,在长沙地区,混凝土空心砖可以用在基础工程中。混凝土空心砖房屋的抗压、抗剪能力不仅与材料本身性能有关,还与施工环境、施工工艺及现场条件有关,有关施工方面的内容在后面章节将有具体阐述。由于混凝土空心砖的质量和体积较混凝土空心砌块小,所以其结构布置灵活,而且建筑适应性强,建筑物技术性能先进。

混凝土空心砖在结构布置和结构可行性方面具有优势,特别其结构的抗压、抗剪性能,可以保证建筑结构的安全性与可靠性。相对粘土实心砖砌筑墙体时,混凝土空心砖可以相应降低一个等级,而结构的强度不会下降。同时空心砖结构中的“销栓”作用使得结构在抗震方面比粘土砖和混凝土空心砌块有较大提高,可有效发挥它的性能优势。

综上所述,混凝土空心砖具有良好的结构性能。

0.4 混凝土空心砖在房屋使用中的可行性

0.4.1 较好的耐久性和耐火性

作为混凝土制品,混凝土空心砖的各项性能指标都与其他混凝土制品相类似。一般来说,对于大多数普通用途,混凝土空心砖具有足够的耐久性。按一般规律,在污染(化学侵蚀)和气候(冰冻侵蚀)的恶劣条件下,应当使用强度超过 7 N/mm^2 的平版面砖块。混凝土空心砖的抗冻性和耐水性试验表明,其耐久性较好。

使用蒸压加气空心砖以及使用抗硫酸盐的硅酸水泥和/或粉煤灰,能增强对硫酸盐侵蚀的抵抗力。

混凝土空心砖同样具有很好的耐火性。然而,实际上的耐火性受到很多因素控制,例如集料的品种和级配,混合料中水泥的含量,混凝土空心砖的形式、重量、厚度及其含水量。按一般规律,大多数 100 mm 厚的混凝土砌块的耐火性,在承载时可达 2 h,在非承载时可达 4 h,混凝

土空心砖与其相似,但具体的资料应从生产厂商处获取。

0.4.2 良好的保温隔热性能

墙体的保温隔热性能与砖的原材料、孔洞率、孔洞大小与形状、孔洞排列方式、孔壁厚度等因素有关。一般来说,矩形孔的导热系数小,菱型孔次之,圆形孔最大;孔壁越薄保温隔热性能越好,在相同孔壁厚度的条件下,砖的热阻值与垂直于热流方向的孔洞排数成正比;在相同孔壁率的条件下,错排孔洞的空心砖的导热系数要比齐排孔洞的小;在孔洞尺寸方面,空气层厚度在 20 mm 范围以内,气孔的热阻值随空气层厚度的增加而增加,大于 20 mm 时,气孔的热阻值随空气层厚度的增加而减少。传统的混凝土空心砌块一般采用单排孔设计,肋厚 ≥ 25 mm,空气层厚度 ≥ 60 mm,190 厚的混凝土空心砌块砖墙的热阻值要明显低于 240 厚的粘土砖墙。随着人民生活水平的提高,人们对居住环境与居住水平的要求也不断提高,因此墙体保温隔热性能差也是影响混凝土空心砌块推广的一个重要原因。混凝土空心砖采用双排孔设计,孔洞为上下错排布置,空气层厚度、孔壁厚度均要小于混凝土空心砌块。在砌筑 240 厚空心砖墙时,其顺砖的孔洞有四排,顶砖的孔洞有三排(如图 0-3 所示)。因此混凝土空心砖的保温隔热性能大大强于混凝土空心砌块,与实心粘土砖不相上下。混凝土空心砖良好的保温隔热性能是其得到市场认同并进一步取代粘土砖的先决条件。

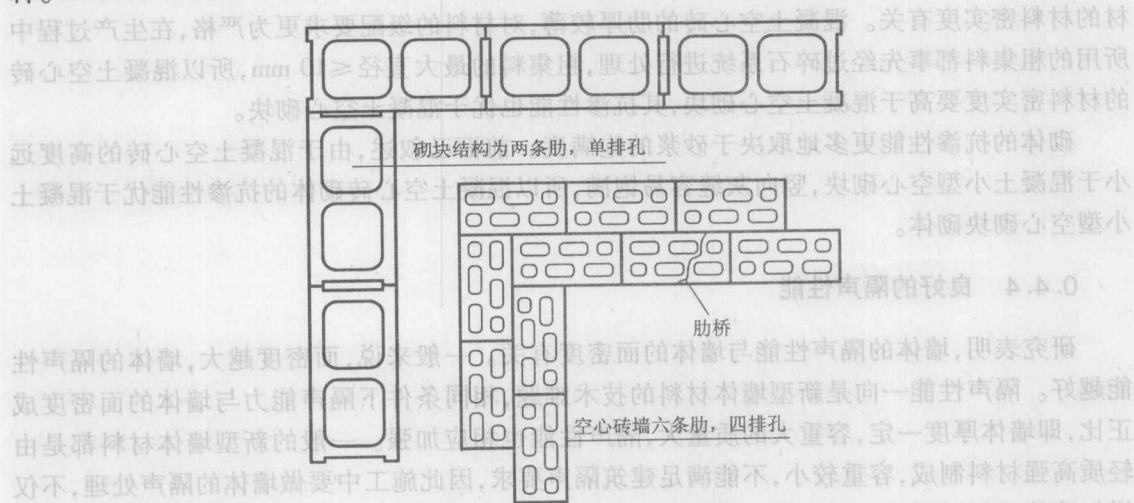


图 0-3 混凝土空心砖的保温隔热性能

0.4.3 抗裂、抗渗性能很好

由于混凝土小型空心砌块多层建筑中出现的顶层裂缝和保温性能较差两大技术问题尚未完全解决,致使其作为非粘土主导产品的发展受到限制。

混凝土小型空心砌块长期以来存在严重的裂、渗问题,这也是影响其推广应用的一个重要障碍。出现这种问题的原因是多方面的,其中导致开裂的一个重要原因是由于小型混凝土空心砌块的高度过大(190 mm),因此在施工时竖向灰缝很难饱满,甚至造成空洞,在承受荷载时容易引起竖向灰缝处的应力集中,导致开裂。研究表明,砌体的抗拉、抗剪强度主要取决于灰

缝中砂浆与块体的粘结强度,一旦竖向灰缝处缺乏有效粘结就很容易加剧砌体的裂缝。由于混凝土的干缩变形值较大,当块体发生干缩变形时,如果缺乏有效的约束,也很容易加剧裂缝的产生。而混凝土空心砖的高度为 90 mm,在砌筑时一般能够保证竖向灰缝砂浆的饱满度,因此与小型混凝土空心砌块相比,可大大提高其砌体的抗裂性能。

混凝土小型空心砌块孔洞率高达 47%,水平灰缝砂浆易掉浆,施工困难,造成水平灰缝不饱满,导致砌体易开裂。混凝土空心砖铺浆面采用盲孔设计,水平灰缝砂浆(类似粘土实心砖)易饱满,减少了砌体裂缝的开展。

混凝土空心砖的几何尺寸小于混凝土小型空心砌块,其干缩变形产生的砌体裂缝较细而均匀,甚至不裂。

传统粘土砖开裂的一个重要原因是由于当气温变化或材料收缩时,混合结构房屋的钢筋混凝土屋盖、楼盖和粘土实心砖墙由于线膨胀系数和收缩率的不同,将产生各自不同的变形,从而引起彼此的约束作用而产生应力,导致开裂(如内外横墙和纵墙的八字裂缝;沿屋盖支撑面水平裂缝和包角裂缝以及女儿墙裂缝等都是由于这个原因引起)。而新型墙体材料中的轻质高强墙板也是由于这个原因在其与钢筋混凝土柱和楼盖的连接处容易开裂,发生渗漏。而混凝土空心砖的原材料是混凝土,其本质上与混凝土屋盖、楼盖、柱是用同一种材料制成,因此可以避免由于房屋建造所用材料不同而引起的墙体裂缝。

混凝土空心砖的抗渗性能也要优于混凝土空心砌块,这是由于墙体的抗渗性能与所用块材的材料密实度有关。混凝土空心砖的肋厚较薄,对材料的级配要求更为严格,在生产过程中所用的粗集料都事先经过碎石系统进行处理,粗集料的最大直径 ≤ 10 mm,所以混凝土空心砖的材料密实度要高于混凝土空心砌块,其抗渗性能也优于混凝土空心砌块。

砌体的抗渗性能更多地取决于砂浆的饱满度。前面已叙述,由于混凝土空心砖的高度远小于混凝土小型空心砌块,竖向灰缝容易饱满,所以混凝土空心砖砌体的抗渗性能优于混凝土小型空心砌块砌体。

0.4.4 良好的隔声性能

研究表明,墙体的隔声性能与墙体的面密度有关。一般来说,面密度越大,墙体的隔声性能越好。隔声性能一向是新型墙体材料的技术难题,相同条件下隔声能力与墙体的面密度成正比,即墙体厚度一定,容重大的质量大,隔声性能也相应加强。一般的新型墙体材料都是由轻质高强材料制成,容重较小,不能满足建筑隔声要求,因此施工中要做墙体的隔声处理,不仅增加造价,而且增加工时、工序。混凝土空心砖的材料密实度较高,因此其面密度要大于混凝土空心砌块,更要远远高于轻质高强隔板,可以看出混凝土空心砖的隔声性能要优于以上两种墙体材料。混凝土空心砖的隔声能力同粘土实心砖相近,隔声能力有 52 dB,已经超过五星级酒店的隔声标准,而对一般办公的隔声要求是 30 dB,住宅是 40 dB,可见混凝土空心砖较好的隔声性能有助于其应用和推广。

0.4.5 粉化问题

在粘土砖中发现的那种粉化问题很少在混凝土制品中出现。在混凝土空心砖中产生钠、钾和钙的碳酸盐时就会发生粉化。这些碳酸盐是由相应的氢氧化物和大气中的二氧化碳之间发生反应而形成的。通过蒸压、在混合料中使用火山灰、避免空心砖过早的干燥收缩和适当的

养护,以及对空心砖的正确设计、施工和维护等,可以进一步减少粉化的发生。然而,在某种较少的情况下,这些盐可能形成造成空心砖损坏的碳酸盐。

0.4.6 空心砖可达到很好的美观效果

混凝土空心砖在生产过程中可作适当处理,如加入相应的添加剂、改变孔洞模式等,使产品呈现出各种颜色、各种样式。用其砌筑形式各样的清水墙,可达到美观实用的效果。

混凝土空心砖结构在使用时,其各项性能指标均与同类产品相近或有所提高,特别是其良好的隔声性能,几乎可以应用于各类建筑中。和混凝土空心砌块不同的是,混凝土空心砖很好地解决了“裂、渗、漏”以及保温隔热的问题。每当一种新产品出现之初,它的使用性和经济性最为关键,也是最受消费者关心的。

0.4.7 二次装修问题

由于社会的发展、生活水平的提高,普遍存在房屋的二次装修问题。许多新型墙体材料难推广,其主要原因之一是,不容许二次装修或二次装修困难。混凝土空心砖墙体二次装修对结构受力性能没有什么影响,且开洞、开槽后,孔洞较小,易于固定或灌实。二次装修中,打掉混凝土空心砖一条肋,还有五条肋,强度损失仅 $1/6$,对墙体承载力影响小,可忽略。

0.5 混凝土空心砖在施工中的可行性

0.5.1 施工速度快、施工方便

与粘土实心砖施工相比,由于混凝土空心砖的体积为粘土砖的 1.7 倍,可加快施工速度。粘土实心砖、混凝土空心砌块、混凝土空心砖的各项技术指标比较见表0-1所示。一块标准混凝土空心砖自重 4 kg 左右,一块粘土实心砖自重 2.5 kg ,在施工前要洒水润湿,这时一块粘土实心砖的重量约为 3 kg 。有研究表明:成年人单手在拿起 5 kg 以内的物体不会感到吃力,因此,就重量而言 4 kg 重的混凝土空心砖不会影响工人施工速度。一个比较熟练的瓦工,每天能砌筑粘土实心砖 $1500\sim 2000$ 块,合 240 厚的砖墙 $11.6\sim 15.4\text{ m}^2$ 墙体面积。由于重量的影响较小,故按每天砌混凝土空心砖 $1400\sim 1900$ 块计,合 240 厚的砖墙 $15.4\sim 20.8\text{ m}^2$ 墙体面积,是粘土实心砖的 1.3 倍以上。

表0-1 三种常见墙材比较

类 别	粘土实心砖	混凝土空心砌块	混凝土空心砖
标准块尺寸	$240\text{ mm} \times 115\text{ mm} \times 53\text{ mm}$	$390\text{ mm} \times 190\text{ mm} \times 190\text{ mm}$	$240\text{ mm} \times 115\text{ mm} \times 90\text{ mm}$
标准块重量	2.5 kg (润湿后 3 kg)	$17.3\sim 19.4\text{ kg}$	$3.8\sim 4.4\text{ kg}$
砌筑每平方米墙体所需块数 (灰缝按 10 mm 计算)	126.98块	12.5块	80块
每天砌筑块数	$1500\sim 2000$ 块	$300\sim 400$ 块	$1400\sim 1900$ 块
每天砌筑墙体平方米数	$11.6\sim 15.4\text{ m}^2$	$24\sim 32\text{ m}^2$	$15.4\sim 20.8\text{ m}^2$
砌筑每平方米墙体(240厚) 砌块质量	$126.98 \times 3 = 381\text{ kg}$	$12.5 \times 18 = 225\text{ kg}$	$80 \times 4 = 320\text{ kg}$

由表 0-1 可知,混凝土空心砖的施工速度介于粘土实心砖和混凝土空心砌块之间,混凝土空心砌块的施工速度较快,但其体积大,需要工人两只手操作,而且在铺浆过程中灰缝饱满度不宜操作,漏浆较严重,浪费较大。砌筑每平方米 240 厚的墙体质量,混凝土空心砖是粘土实心砖的 90% (灰缝重量不计),即墙体重量降低 10%,因此可减少基础的负重和截面。混凝土空心砖是采用盲孔或半盲孔施工,砂浆用量比砌块多,但易于施工操作,混凝土空心砖不用绘制排砖图,砌筑前不用试摆;与粘土实心砖相比,混凝土空心砖的施工速度较快,也不用洒水润湿,规则性较强;与现浇钢筋混凝土相比,由于空心砖结构不需要支模、钢筋绑扎、拆模、混凝土养护等过程,其施工速度也可提高一倍。建造混凝土空心砖建筑无需大型专用机械,一般会砌筑粘土实心砖的瓦工略加实习就可掌握混凝土空心砖施工操作技术,所以混凝土空心砖的施工工艺比较容易被广大施工单位所接受。

0.5.2 可以有效节约砂浆

混凝土空心砖的主块厚度为 90 mm,约为粘土实心砖的 1.7 倍,长、宽尺寸与粘土实心砖相同。由此计算,砌筑每平方米 240 厚的砖墙所用砂浆仅为粘土实心砖的 75%,即可节约砂浆 25% 以上。由于混凝土空心砖是采用机械化压制成型生产,其外观比粘土实心砖规整,外型尺寸误差也小,这样墙体的抹灰层就不会造成厚薄不均的情况,混凝土空心砖墙比传统砖墙可节约粉刷砂浆约 20%。而且可砌成清水墙。从而简化了墙体的抹灰工作量,也节约了抹面的砂浆。

0.5.3 墙体开槽,开孔影响不大

单排孔混凝土空心砌块在进行管道暗埋时,一旦在墙体上开洞、开槽,会使砌体的强度有很大削弱。在实际施工中一般要采取灌筑芯柱混凝土等加固措施,但同时也加大了施工难度。混凝土空心砖为双排孔设计,每块砖有三条肋,孔洞率也很合适,在墙体上开槽、开洞,即便凿去一条肋对混凝土空心砖的强度都不会造成很大影响。值得一提的是,混凝土空心砖不仅可以用灰刀直接砍断,而且砍断后的断面很规则,尽管较粘土实心砖费力,却不是同想象中的那样困难。但不论混凝土空心砖还是混凝土空心砌块都以混凝土为主要原料,对于墙体开孔、开洞都很困难,因此,开发带凹槽的混凝土空心砖和配砖已提到日程上来,这样可以有效解决施工中的不便之处。

由此可见混凝土空心砖是适合工程实践应用的墙体材料,由于同时具有粘土实心砖和混凝土空心砌块的特点,所以较其他墙体材料有更大的发展潜力。混凝土空心砖和粘土实心砖的施工要求相同,工人易于操作,工程技术人员也容易控制进度。混凝土空心砖的这些绝对性的优势,势必会引起更多施工单位的关注,也对其今后的市场推广提供了必要的前提条件。

0.6 混凝土空心砖的经济效益分析

0.6.1 直接经济效益

(1) 一块混凝土空心砖从体积上讲,相当于 1.7 块粘土实心砖。取混凝土空心砖 (MU10) 价格为 130 元/ m^3 ,每立方米含混凝土空心砖 $10^9 / (240 \times 115 \times 90) = 403$ 块,即每块混凝土空