

轻骨料混凝土的研究和应用文集

中国建筑科学研究院建筑结构研究所 编

中国建筑工业出版社

轻骨料混凝土的研究和 应用文集

中国建筑科学研究院建筑结构研究所 编

中国建筑工业出版社

本书简要论述了我国轻骨料及轻骨料混凝土的发展概况和几种轻骨料的生产工艺及性能的研究成果；初步探索了用正交方法进行各种轻骨料混凝土配合比设计和用统计方法确定轻骨料混凝土主要力学及热工指标；用较多篇幅介绍了轻骨料混凝土在装配式工业与民用建筑墙板、屋面板，以及在现浇滑升施工的墙体、烟囱的耐热内衬中的应用。

本书可供从事轻骨料及轻骨料混凝土生产和应用方面的有关科研、设计和施工的技术人员参考。

轻骨料混凝土的研究和应用文集

中国建筑科学研究院建筑结构研究所 编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/16 印张：19 ¼ 字数：478 千字

1981年4月第一版 1981年4月第一次印刷

印数：1—3,840册 定价：2.05元

统一书号：15040·3977

编 者 的 话

1956年以来,我国便开始研制轻骨料及轻骨料混凝土,并逐步在建筑工程中应用。但由于种种原因,其发展速度较为缓慢。近几年来,随着墙体改革和建筑工业化的发展,作为轻质、高强、多功能的新型建筑材料之一的轻骨料混凝土,其生产、科研和应用也得到相应的发展,并积累了一些资料和经验,受到有关方面的重视。

为了进一步总结我国轻骨料及轻骨料混凝土研究和应用方面的成果,推动其发展,我们组织有关单位,重点选择了近几年来轻骨料及轻骨料混凝土方面的主要科研成果和生产、应用的经验,以论文、研究报告和经验介绍等形式,汇编成册,较全面地介绍了我国各种主要轻骨料及轻骨料混凝土的生产工艺,物理力学性能的试验研究,及其在工业与民用建筑中的应用情况。

本书主要整理工作由龚洛书同志担任,苏曼青、施杏生、惠满印、李云秀等同志也参加了此项工作。在全书的编写过程中,得到各有关单位和同志的支持与协助,我们表示衷心的感谢。

编 者

一九八〇年三月

目 录

一、我国轻骨料和轻骨料混凝土的发展概况	中国建筑科学研究院 龚洛书 (1)
二、我国轻骨料的生产工艺及其性能	中国建筑科学研究院建筑结构研究所 轻骨料混凝土研究组 (9)
三、膨胀珍珠岩骨料生产工艺的试验研究	辽宁省建筑科学研究所 (18)
四、双筒回转窑生产粉煤灰陶粒新工艺的探讨	陶粒新工艺试验小组 (38)
五、膨胀矿渣珠生产工艺及膨珠混凝土	膨珠研究协作组 (56)
六、膨胀沸石岩轻骨料及其混凝土	清华大学 冯乃谦、廉慧珍、王瑞、郭玉顺 (64)
七、膨胀珍珠岩混凝土	中国建筑科学研究院建筑结构研究所 轻骨料混凝土研究组 (75)
八、粉煤灰陶粒珍珠砂混凝土	天津市建筑材料科学研究所 轻混凝土专题组 (91)
九、陶粒混凝土的强度	清华大学 赵若鹏、李铭臻 (104)
十、桥面板用的高强粘土陶粒混凝土	铁道部大桥局桥梁科学技术研究所 (130)
十一、高强粉煤灰陶粒混凝土配合比的设计	天津轻骨料混凝土科研小组 (143)
十二、轻骨料混凝土抗压强度的尺寸换算系数	“轻骨料混凝土技术性能”专题协作小组 (157)
十三、轻骨料混凝土的抗拉强度	“轻骨料混凝土技术性能”专题协作小组 (164)
十四、轻骨料混凝土轴心抗压强度取值问题的探讨	“轻骨料混凝土技术性能”专题协作小组 (172)
十五、轻骨料混凝土的弹性模量及其表达式	“轻骨料混凝土技术性能”专题协作小组 (178)
十六、陶粒混凝土劈拉后再压强度与立方体强度的关系	重庆建工学院 徐家保 (188)

- 十七、轻骨料混凝土热物理性能的试验研究
..... 中国建筑科学研究院物理所 轻混凝土热工专题组 (193)
- 十八、陶粒混凝土的性能及其影响因素
..... 上海市建筑科学研究所 (214)
- 十九、钢筋粉煤灰陶粒混凝土受弯构件的基本性能
..... 上海市建筑科学研究所 (223)
- 二十、粉煤灰陶粒混凝土大板工艺及其应用
..... 天津市建筑构件公司第三构件厂 天津大学土建设计院 科研设计小组 (242)
- 二十一、页岩陶粒混凝土屋面板和墙板的设计、研究与应用
..... 黑龙江省建筑技术改革小分队 (253)
- 二十二、浮石混凝土工业墙板的试验研究
..... 浮石混凝土工业墙板试验小组 (266)
- 二十三、页岩陶粒混凝土在高层滑升建筑中的应用
..... 中国建筑科学研究院结构所轻骨料混凝土研究组 (275)
- 二十四、预应力浮石膨胀珍珠岩混凝土“二合一”屋面板
..... 大庆油田科学研究设计院 设计研究所 土建室 (291)
- 二十五、浮石混凝土烟囱内衬
..... 山西电力设计院 (305)

一、我国轻骨料和轻骨料混凝土的发展概况

中国建筑科学研究院 龚洛书

轻骨料混凝土是用多孔轻质骨料（即轻骨料）和水泥配制而成的一种轻质混凝土。其生产工艺和普通混凝土基本相同，不需要特殊的生产设备。可用它来制作任何形状的构件或构筑物。其性能与普通混凝土相比具有如下几个特点：

1. 轻质高强 轻骨料混凝土的容重一般为 $800\sim 1900$ 公斤/米³，作承重结构用的轻骨料混凝土，其容重仅为 $1400\sim 1900$ 公斤/米³，比普通混凝土约小 $20\sim 30\%$ 以上，而强度与普通混凝土相近，一般可达 $150\sim 500$ 号，最高可达 700 号。

2. 保温性能好 容重为 $800\sim 1400$ 公斤/米³的轻骨料混凝土是一种性能良好的墙体材料，其抗压强度一般为 $50\sim 150$ 公斤/厘米²，导热系数为 $0.2\sim 0.45$ 千卡/米·时·°C，与普通粘土砖相比，不仅强度高，整体性好，且保温性能良好。用它制作墙体，其厚度可比砖墙减薄 30% 以上。

3. 抗震性能好 轻骨料混凝土由于自重轻，弹性模量低，用它建造的构筑物，在地震荷载作用下，所承受的地震力小，振动波的传递也较慢，且自振周期长，对冲击能量的吸收快，减震效果好。因而，抗震性能比普通混凝土好。

4. 耐火性能好 轻骨料混凝土由于导热系数低，在高温作用下，可保护钢筋不易遭受破坏。对同一耐火等级来说，钢筋轻骨料混凝土板的厚度可比普通混凝土减薄 20% 以上。

由于轻骨料混凝土具有上述一系列优点，适宜于建造工业与民用建筑，不仅可用作围护结构，也可用作承重结构，同时可收到减轻结构自重，节约材料用量，提高构件运输和吊装效率，减少地基荷载，节省投资和改善建筑功能等效益。特别是在高层和大跨度结构中，其经济技术效果更为显著。因此，国外轻骨料及轻骨料混凝土的发展十分迅速，其应用范围也日益广泛。近几年，在我国，随着建筑工业化，特别是墙体改革的发展，轻骨料和轻骨料混凝土的生产和应用也有了进一步发展。现把主要情况介绍如下。

一、轻骨料的发展概况

轻骨料属地方性建筑材料，其原料来源十分广泛。我国幅员辽阔，资源丰富，具有发展轻骨料的良好条件。因此，就其品种而言，我国现有的轻骨料品种是较齐全的，按其原料来源，大致可分为三大类：

1. 天然轻骨料 是由于火山喷发或其他原因而天然形成的多孔轻质岩石。有的不经加工，有的经过破碎、筛分即可使用。在我国较大量开采利用的有浮石、火山渣和火山凝灰岩等。

2. 工业废渣轻骨料 是以工业废渣为主要原料，有的经焙烧，有的则不经焙烧直接加工而成的多孔轻质骨料。如炉渣、粉煤灰陶粒、膨胀矿渣珠、自燃煤矸石等。

3. 人造轻骨料 是以粘土、页岩、珍珠岩等为原料，经过焙烧加工而成的轻骨料，如

粘土陶粒、页岩陶粒、膨胀珍珠岩等。

我国轻骨料的生产和应用是从人造轻骨料的研制开始的。1956年在山东博山,利用水泥回转窑,试制成功我国第一批粘土陶粒之后,在天津、上海等地用小立窑也试制成功海泥陶粒和粘土陶粒。1960年左右,在北京、郑州、新乡等地也用半煤气倒焰窑烧制粘土陶粒。后来,由于劳动强度大,生产效率低,产品成本高,没能继续得到发展。1963年,北京市建筑材料科研所和东北建筑设计院等单位共同协作,建成了一条年产1.3万立米的插入式双筒回转窑生产页岩陶粒的中间试验线。同时,较系统地进行了生产工艺的试验研究,并在1964年通过了鉴定,为进一步发展我国的人造轻骨料提供了良好的经验。以后,在龙凤、抚顺、大连、九台、沈阳、本溪、鞍山等地也相继建立了用回转窑生产粘土陶粒、页岩陶粒和膨胀珍珠岩等人造轻骨料的生产车间或工厂,使我国人造轻骨料的生產逐步有所发展。

由于发展人造轻骨料,一次投资较大,且需要耗用较多的燃料。因此,在发展人造轻骨料的同时,不用燃料的天然轻骨料和少用或不用燃料的工业废渣轻骨料也应逐步得到发展。

我国是个多火山国家,在东北、华北和华东等地,火山资源十分丰富。据调查,在黑龙江省牡丹江地区宁安县渤海公社的渤海国遗址,发现早在一千多年前(公元698~926年),就曾利用多孔玄武熔岩做柱基和石灯以及用浮石做建筑材料的遗迹,有的至今还保存完好。1958年左右,黑龙江省德都县和山西省大同等地,开始了对当地的火山资源的利用工作,蕴藏量丰富的浮石和火山渣,除用作水泥混合材,或吹制火山岩棉外,还开始用作轻骨料,制作浮石混凝土砌块和各种预制构件。以后,在吉林、辽宁、内蒙等地也陆续发现和少量开采利用,但较大量地开采和利用还是在1975年以后。

利用工业废渣做轻骨料,用得最早最多的是煤渣,大多用作粉煤灰硅酸盐砌块的骨料,也有少量用以制作煤渣混凝土。据不完全统计,现在每年用作轻骨料的煤渣约为40万立方米。但由于煤渣表面多孔,用作轻骨料配制混凝土时,水泥用量较高,且和易性也较差。我国还逐步发展利用热电厂的废料——粉煤灰烧制粉煤灰陶粒。1958年前后,先是用土立窑,后是用机械化立窑研制粉煤灰陶粒。1966年,在天津市建研所和东北建筑设计院等单位协作下,天津市硅酸盐制品厂建成了我国第一座用烧结机生产粉煤灰陶粒的车间。1976年陕西省建研所、东北建筑设计院等单位,又成功地采用泥浆成球、双筒回转窑烧制粉煤灰陶粒,并于1978年通过了鉴定。用这种工艺烧制的粉煤灰陶粒,颗粒强度较高,可以配制500号的高强陶粒混凝土。

应该指出的是,我国轻骨料的发展并不是一帆风顺的。二十多年来,经历过多次起伏,发展较慢,与某些国家相比,差距较大。特别是在文化革命开始后的一段期间内,由于林彪、“四人帮”极左路线的干扰和破坏,我国轻骨料的生產受到很大挫折,很多轻骨料厂被迫下马或改行。直到1975年后,随着建筑工业化和墙体改革的发展,由于国家建委及有关领导部门的重视,使我国轻骨料的生产和应用又得到了新的发展。据不完全统计,到1977年,我国各种轻骨料的年产量约达103万立方米,1978年比1977年又增长了约12%。1978年,国家建委中国建筑科学研究院和有关单位共同编制出《轻骨料及轻骨料混凝土技术规范和试验方法》J 78—2(暂行规定),为我国轻骨料及轻骨料混凝土的进一步发展创造了条件。

二、轻骨料生产的发展趋势及其特点

1. 重视天然轻骨料的开采和利用

虽然我国轻骨料生产的发展开始于人造轻骨料的研制,而且人造轻骨料也是今后轻骨料向轻质、高强发展的主要方向之一。但在我国当前情况下,要普遍地大量发展人造轻骨料来满足建筑业迅速发展的需要是有困难的。所以,在那些天然火山资源较丰富的地区,较现实的、而又可能在较短期间内大力开采和利用的是天然轻骨料。

据资料介绍,我国火山最多的地区首推东北,而东北已发现的19个火山群,分布在黑龙江省境内的最多,其次是吉林省。根据国家建委科技发展计划的要求,中国建筑科学研究院,黑龙江省低温建筑科研所和吉林省建筑科研所等单位,曾于1976年和1978年,先后对吉林省长白山和龙岗火山群,黑龙江省的五大连池、二克山等火山群的资源及其在建筑中的应用进行了调查。调查结果表明,这些地区的天然轻骨料蕴藏量十分丰富,且质量很好。在一些交通较方便的地区,当地居民早已开采利用。十多年来,仅二克山一地,已开采浮石近150万立方米。现年产量约15万立方米,主要供应大庆等地区用作轻骨料、水泥混合材和生产无熟料水泥。吉林省的龙岗火山群,仅辉南县大椅山附近,粒径为20毫米左右的火山渣储量就达一亿六千多万立方米,矿层厚度最大的达30多米,开采十分方便。调查结果引起了有关领导部门的重视。根据调查的结果和吉林省建筑工业化的需要,辉南县的火山渣矿现正在兴建之中,建成后年产量将达50万立方米。另外,黑龙江省现正计划扩建二克山的浮石矿,进一步改善开采和运输条件,年产量也将达40~50万立方米。此外,山西大同,内蒙乌兰哈达的浮石蕴藏量也很大,长期以来,已有小量开采利用。最近正计划进一步大量开采,以满足当地和京、津地区大规模兴建住宅建筑工程的需要。

2. 利用工业废渣生产轻骨料有很大发展前途

利用工业废渣生产轻骨料,是化害为利、变废为宝,减少城市污染的重要途径之一。近几年来,在一些大、中城市,利用废弃的锅炉煤渣、高炉矿渣、热电站的粉煤灰和煤矿的自燃煤矸石生产各种轻骨料,已引起了有关部门的重视,获得了较大的发展。其中,利用粉煤灰生产粉煤灰陶粒和利用矿渣生产膨胀矿渣珠的发展则更快些。

我国热电站的粉煤灰每年排放量达数千万吨,但利用率不高,大量废弃,造成污染。这几年来,随着建筑材料需要量的迅速增长,特别是提出墙体改革以来,利用粉煤灰生产各种建筑材料也有很大发展,主要用作粉煤灰砖、加气混凝土、水泥或混凝土的掺合料,以及生产粉煤灰陶粒等。其中粉煤灰陶粒的吃灰量最大,每生产1万立方米粉煤灰陶粒,可处理粉煤灰约6000吨。同时,所用燃料可比一般人造轻骨料减少约一半以上。因此,继天津市采用烧结机生产粉煤灰陶粒后,在辽宁、甘肃、河南、河北等省又有一批年产10~30万立方米的粉煤灰陶粒厂正在设计和兴建中,这批陶粒厂建成后,将使粉煤灰陶粒成为我国轻骨料中产量最高的品种之一。

利用熔融状的高炉矿渣生产膨胀矿渣珠,在国际上是七十年代出现的一种新工艺。1974年,北京首都钢铁公司与有关单位共同协作开始研制,现已在北京、本溪、宣化、鞍山等地试制成功,并建立了工业性中间试验线,开始小批量生产。实践表明,膨珠生产工艺简单,与人造轻骨料相比,可充分利用熔融矿渣的热能,不需耗用燃料,因而,成本很低。目前生产的膨珠除容重较大外,其他性能均满足使用要求,且用它配制成的混凝土,与同容重的轻骨料混凝土相比,还具有导热系数较低,弹性模量较高的特点。因此,膨珠是一

种很有发展前途的工业废渣轻骨料。现在，一批年产10~15万立米的膨珠厂正在北京、辽宁、河北等地兴建。

3. 轻骨料的生方向大型化的方向发展

五十年代至六十年代，我国轻骨料的发展尚处于试制试验阶段，无论是天然轻骨料的开采，还是人造轻骨料的生，其规模都是较小的，大都属中间试验线，一般年产仅1~2万立米。因此，劳动生产率低，燃料消耗大，成本也较高。

国内外的生实践说明，要迅速发展轻骨料的生，必须相应地采用先进的生产工艺和大型、高效的生设备。美、苏、日等生人造轻骨料，单机产量大都为10~20万立米，其劳动生产率每人每年最高可达一万多立米。据资料介绍，设备生能力从年产1.25万立米，提高到5~10万立米，每立米人造轻骨料的成本可降低1~2倍，经济效果十分显著。我国天津市硅酸盐制品厂生粉煤灰陶粒的经验也充分说明这个问题，该厂采用18平米的大型烧结机，年产粉煤灰陶粒7万立米，每立米陶粒的成本仅13余元；而其他地方的一些年产1~2万立米的小厂，陶粒的成本每立米大都在24元以上。

近几年来，我国上海、辽宁、河北等地设计或正在兴建的一批陶粒厂，单机产量一般都是5~10万立米。如去年在上海投产的采用由炉篦子加热机和回转窑组成的立波尔窑生粘土陶粒新工艺，单机产量为5万立米，陶粒厂由两条生线组成，年产量共为10万立米；又如正在辽宁清河兴建的年产30万立米的目前我国最大的粉煤灰陶粒厂，由三台单机产量为10万立米的烧结机组成，其工厂设计成本每立米仅7.5元。

如前所述，天然轻骨料的开采，以前的规模也都是较小的，并且大多为人工开采，产量很低，远不能满足大规模工程建设的需要。近几年，在吉林、黑龙江等地正在设计和兴建的天然轻骨料厂，也都在向大型化的方向发展，其规模比人造轻骨料厂更大，最大的年产达50万立米。这些厂矿建成后，将使我国轻骨料的产量大幅度增加。

三、轻骨料混凝土的应用

自从1958年原建工部建筑科学研究院和有关单位协作，建成了我国第一栋轻骨料混凝土装配式大板试点建筑以后，轻骨料混凝土在建筑工程中的应用越来越多，其主要情况介绍如下。

1. 主要用作墙体结构

长期以来，我国工业与民用建筑的墙体材料主要是粘土砖。生粘土砖不仅要毁田取土、与农争地，而且，筑砌墙体只能用手工，劳动强度高，不利于实现建筑工业化。自国家建委提出墙体改革以来，各种新型墙体材料相继涌现，轻骨料混凝土就是其中的一种。因为轻骨料混凝土具有自重轻、保温性能好等特点，同时又兼有保温和承重多种功能，比起加气混凝土和其他轻质材料，还有便于就地取材，原材料来源广泛，用以制作各种墙体构件，不需要特殊的生设备等特点。所以，它是一种比较可行、易于大量生的一种新型墙体材料。

我国东北和华北地区的北京、天津、沈阳等地，由于气候寒冷，对墙体材料保温性能的要求较高，所以，使用轻骨料混凝土制作墙体构件的历史较早，所采用的品种也较多，其中有用粘土陶粒、页岩陶粒、粉煤灰陶粒、炉渣、膨珠和天然浮石等制成的各种轻骨料混凝土。主要用作工业与民用建筑的装配式大型墙板，少量用作砌块，也有用作现浇大模板或滑升模板施工的民用建筑墙体。这些民用建筑大都是5~6层的，也有的是10层以上的高

层住宅建筑。如北京市东三环统建住宅1号楼和沈阳市用滑升法施工的18层的高层住宅公寓等。

还应特别指出的是,用单一材料制成的轻骨料混凝土工业墙板,在北方地区的一些有采暖要求的保温车间的墙体上大量使用,与砖墙或普通混凝土复合墙板相比,制作方便,它的施工工艺简单,运输吊装方便,可大大提高劳动生产率,综合技术经济指标较好。所以,近两年来,应用较多。由中国建筑工业出版社公开出版的《工业建筑墙板图册》中,轻骨料混凝土墙板就占很大篇幅。

用作墙体的轻骨料混凝土要求有较低的容重和较小的导热系数。目前我国用作墙体的轻骨料混凝土,要求其容重不超过1400公斤/米³,要达到这个要求,关键的问题是细骨料不能采用普通砂,而需采用轻砂。实践说明,当采用松散容重为700~800公斤/米³的一般轻骨料时,用破碎陶砂做细骨料,这个指标是很容易达到的;若采用更轻的膨胀珍珠岩砂,则可使轻骨料混凝土的容重降至1200公斤/米³左右。这样与普通砖墙相比较,在同等热阻的要求条件下,则可使墙体的厚度减少40%以上,而墙体的自重则可减轻达2倍多。

由此看来,采用陶砂还不能大幅度地降低轻骨料混凝土的容重,而采用膨胀珍珠岩砂的效果却是较好的。目前,我国没有生产专供作细骨料用的膨胀珍珠岩砂,一般都是采用膨胀珍珠岩保温粉的等外品代替,其松散容重最好为150公斤/米³左右。由于这样的膨胀珍珠岩砂颗粒强度较低,吸水率较大,因而必须掺用活性粉料(如粉煤灰)或减水剂(如木质磺酸钙等),以改善混凝土拌合物的和易性。

为了进一步减轻轻骨料混凝土的容重,有的还采用无砂大孔陶粒混凝土或陶粒加气混凝土。但由于其孔隙率较大,对钢筋的保护性能差,因而要求钢筋必须做防护涂层,混凝土表面也必须另作饰面层,施工较麻烦,故应用较少。

目前,有些国家采用容重小于1000公斤/米³或600公斤/米³的轻骨料混凝土作墙体构件,技术经济指标更为优越,这就要求采用松散容重小于300~400公斤/米³的超轻骨料。我国大连、九台、象山、沈阳等地试制成功的大颗粒膨胀珍珠岩骨料,和最近北京试制成功的煤矸石陶粒和沸石岩轻骨料,就是一种很有发展前途的超轻骨料。但目前在我国,由于这种产品的产量有限、成本较高,故应用甚少。

2. 在承重结构中的应用

由于结构轻骨料混凝土的容重一般为1800公斤/米³左右,比普通混凝土约轻20~25%,又可达到普通混凝土一般能达到的强度。因此,代替普通混凝土在承重结构上应用可减轻结构自重,具有较好技术经济效果。

在六十年代,我国轻骨料发展的初期,轻骨料混凝土的标号较低,一般仅为150~200号,除用作墙体外,在天津、上海、河南等地主要用于非预应力的楼板、屋面板、梁和门式框架等构件上。近几年来,随着轻骨料混凝土容重-标号水平的提高,已可配制出300号以上的轻骨料混凝土(在实验室最高可达700号)。在天津、西安、上海等地,标号为300号的粉煤灰陶粒及粘土陶粒混凝土已用于预应力空心楼板和屋面板,最大跨度为15米以上的预应力轻骨料混凝土双T板、折板也开始试制。

目前,我国配制300号以上的高标号轻骨料混凝土,采用的轻骨料主要是粉煤灰陶粒、粘土陶粒和页岩陶粒。陶粒的松散容重一般为700~800公斤/米³,筒压强度不小于30公斤/厘米²,细骨料主要采用普通砂,因而,300号的轻骨料混凝土,其容重一般都在1800公

斤/米³左右；而采用轻质，高强的优质陶粒和陶砂做粗细骨料，配制300号的陶粒混凝土，其容重仅为1500公斤/米³。容重为1800公斤/米³的陶粒混凝土，其最高强度则可达700公斤/厘米²。实践表明，天然轻骨料表面多孔，颗粒强度较低，用它配制300号的轻骨料混凝土，其水泥用量需高达500多公斤/米³，在技术经济上，显然是不合理的。由此看来，需要生产更多的轻质、高强、优质的陶粒，才能满足轻骨料混凝土在承重结构上日益广泛的应用的需要。

轻骨料混凝土虽为轻质多孔材料，与普通混凝土相比，其弹性模量较低，收缩徐变较大，但只要处理得当，结构的使用是安全可靠的。我们曾组织对全国各有关地区，近二十多年来轻骨料混凝土在建筑工程中使用情况的调查，结果说明，所有轻骨料混凝土结构的使用状况是良好的。除极个别的工程因设计不当，出现一些问题以外，绝大多数建筑物从没发现任何质量事故。经历了1976年唐山大地震的京、津地区的几十栋轻骨料混凝土的工业与民用建筑，基本上都完好无损。即使周围的砖混结构遭受严重破坏或倒塌，但它们仍安全无恙，说明其抗震性能是十分良好的。

关于轻骨料混凝土结构物的耐久性问题，有人担心钢筋可能比普通混凝土更易于遭受锈蚀。但调查十几个工程的实测资料表明，在正常使用条件下，用普通砂做细骨料配制而成的密实轻骨料混凝土，无论是预制的还是现浇的，室内还是室外的，墙体还是雨罩，桥梁还是其他构筑物，其混凝土保护层按一般设计要求（2~3厘米），钢筋都没有发现有锈蚀现象。有的碳化深度虽已超过混凝土保护层的厚度，但钢筋仍然完好。实测还表明，轻骨料混凝土的后期强度仍继续增长，其抗冻性能也是很好的。这些都说明，轻骨料混凝土的耐久性能是良好的。

3. 在某些特殊构筑物中的应用

轻骨料混凝土除广泛用于工业与民用建筑工程中作围护和承重结构外。在我国，还用于建造桥梁、电杆、船舶以及烟囱和高温窑炉等的耐火内衬，取得了良好的技术经济效果。

由于轻骨料混凝土自重轻，用它建造桥梁可大大减轻结构自重。在轻骨料发展初期，它就开始用于桥梁工程。如1960年，在河南平顶山建成了我国第一座粘土陶粒混凝土的拱形公路大桥（湛河大桥）。该桥净跨50米，宽24米，净高8.5米，桥基地质条件差，地基软弱。由于采用了不配筋的陶粒混凝土肋形拱及使用陶粒作轻质填料，使上部结构自重减轻了47%，显著地减少了地基压力，简化了下部结构和基础处理，降低了材料用量。与普通混凝土桥相比，整个工程共节约了木材10%，钢材6.3%，水泥7%，还加速了施工速度，技术经济效果十分显著，为今后陶粒混凝土在桥梁工程上的应用创造了良好的经验。继湛河大桥之后，我国著名的南京长江大桥公路桥部分的车道板；宁波市1969年后建成的两座公路桥（其中反帝桥全长304米，解放桥全长242米）；1973年建成的山东黄河大桥公路桥部分车道板和1965~1968年三年间，上海市郊先后建成的三十余座中小型的公路桥，都是用陶粒混凝土建成的（其中有非预应力的，也有预应力的钢筋陶粒混凝土结构，最大跨度达23米）。

轻骨料混凝土具有较好的耐火性能，用在工业与民用建筑中，特别是用在防火要求更高的高层建筑中，可提高其防火等级。此外，还可直接用作高温窑炉或烟囱的内衬，我国很多地方都曾成功地采用滑升模板新工艺，用普通混凝土做结构层，用轻骨料混凝土代替耐火砖做耐火内衬，同时进行滑升施工，烟囱高度达150米。如北京的高井电站3号烟囱，

和北京第二热电厂烟囱，都是采用150号的页岩陶粒混凝土做耐火内衬。又如大庆的新华电厂和山西的神头电站，则是采用浮石混凝土做耐火内衬，不仅改善了工程质量，还加快了施工速度，取得了良好的技术经济效果。

陶粒混凝土在造船工业上的应用，国外从第一次世界大战期间就已开始，德、美等国用它来制造万吨巨轮。轻骨料混凝土由于自重轻，抗渗性能好，用它制造船只，不仅可节约大量钢材，且便于维修。1960年，我国河南新乡市建研所和渭河船运处新乡造船厂协作，曾试制成功陶粒混凝土船，使用效果良好。1968年，浙江宁波市试制了一条载重80吨的陶粒混凝土围船，该船优点是使用耐久、不需经常维修、吃水深度浅，使用至今未发现腐蚀和渗透现象。

四、几点看法和建议

综上所述，最近几年，我国轻骨料及轻骨料混凝土的生产与应用虽有较大发展，但仍然满足不了建筑工业化和墙体改革的要求，为了促进我国轻骨料及轻骨料混凝土的进一步发展，特提出如下几点看法和建议。

1. 必须将轻骨料的生纳入国家 建筑材料的生产 计划中去。轻骨料和普通砖、瓦、灰、砂、石一样，属地方性建筑材料。当前，已越来越多用它来代替普通粘土砖和普通混凝土，用途广、用量大。但当前我国各种轻骨料的生产量远不能满足使用要求，其中，根本的原因之一是轻骨料生计划不周，管理不善。对如何因地制宜，就地取材地发展轻骨料生缺少一个统一的规划，对各地发展轻骨料中存在的一些问题（如投资，设备加工和价格制定等问题），未能及时得到解决。因此，我们建议，有关领导部门应把轻骨料的生列入国家建材生计划，对燃料，资金和设备给予应有的保证。并对轻骨料资源的开发，工业废渣的利用，统筹规划，以利发展。

2. 必须加速旧企业的技术改造，建立强大的生轻骨料的基地。如前所述，我国现有大多数轻骨料厂矿，规模都较小，产量低，成本高。当前虽然有一批较大型的生厂矿正在设计和兴建，但也可以看出，轻骨料生的发展是不平衡的，很多地区，丰富的工业废渣和天然轻骨料资源并没有得到充分的利用；有些地区，则从外地大量买进轻骨料，这在技术上和经济上都是很很不合理的。

因此，我们认为，为了迅速发展我国轻骨料的生，首先必须根据革新、挖潜、改造的方针，进一步提高设备的生能力，将产量低、设备差的小厂，逐步改造成用大型、高效的生工艺和设备装备起来的先进厂矿。

在当前，发展轻骨料生必须立足于天然轻骨料和工业废渣的利用。对那些工业废渣和天然轻骨料资源丰富的地方，特别是那些砂石资源缺少的地区，应加紧开发，有计划、有步骤地建立一批强大的轻骨料生基地。

3. 对某些轻骨料所需的生设备，应定型、定点加工，保证供应。利用工业废渣或某些地方资源加工成各种陶粒，目前主要采用的设备是烧结机或回转窑，但这些设备尚未定型，也没有专门的工厂进行加工。因此，目前正在设计和兴建的10~20万立方米的大型陶粒厂中，有的厂就是因为这些主要设备供不上，而拖长建厂周期；有的则在设备制造技术还未掌握时，即自行设计、自行加工，浪费了大量人力、物力和财力；有的则是因为某项配套设备供不上，而不能投产，这些现象都不同程度地影响轻骨料生的发展。

因此，我们建议，对生轻骨料所需的全套设备必须首先抓好定型工作，特别是对当

前用得较多，设计部门也已累积有较丰富经验的，年产5~10万立米的生产陶粒的全套设备的定型设计任务，应由上级部门下达，迅速组织完成。同时，指定专门工厂进行加工，全套供应，以节约投资，缩短建厂周期。

4. 加强科学研究工作，促进轻骨料及轻骨料混凝土生产和应用的发展。近几年来，由于有关主管部门的重视，轻骨料及轻骨料混凝土的科研工作，取得了一定成绩，但还不能满足建筑工业化发展的要求。当前，必须加强对工业废渣和天然轻骨料性能及其合理利用的研究；对轻质高强的轻骨料及其轻砂，特别是利用工业废渣生产轻质高强轻骨料的新工艺、新设备及其膨胀机理，以及提高劳动生产率，降低燃料消耗的有效措施，也应给予应有的注意；对全轻混凝土提高其保温性能的措施，以及高强轻骨料混凝土的强度与变形性能及其在承重结构上应用的若干技术问题，都应进一步加强研究，并编制相应的设计和应用的技术规程和标准。

二、我国轻骨料的生产工艺及其性能

中国建筑科学研究院建筑结构研究所轻骨料混凝土研究组

一、轻骨料的生产工艺

某些工业废渣轻骨料和人造轻骨料的生产工艺，较为复杂。根据所用原料的性质与内部结构的不同而采用不同的生产工艺。在我国主要采用的有干法、半干法和塑化法三种。

(一) 干法生产工艺

凡所用原料的结构致密、成分较均匀，只需一种原料就可满足生产要求的，可用干法生产。如页岩陶粒、膨胀珍珠岩就是采用干法工艺生产的。

1963年北京市建材研究所在东北建筑设计院的协助下采用干法生产工艺，建成了一条年产15000立米的页岩陶粒试生产线，这就是目前的北京市陶粒厂生产线。

鞍钢基建公司也于1974年建成了一条年产3万立米的页岩陶粒生产线，其工艺流程大致与北京市陶粒厂相似，不同之处是后者采用天然气作燃料；与前者相比，省去了对原煤处理的机械设备，利用了废气，节省了原煤，故成本较低。

页岩陶粒的生产工艺较简单，原料处理只要将页岩破碎后，通过振动筛筛分至所需的粒级，就可入回转窑焙烧。当燃料采用原煤时，将煤块破碎后，再磨细成煤粉，将煤粉送往双管螺旋机，再由鼓风机吹入窑内燃烧。

北京市陶粒厂采用 $\phi 1.16/0.93 \times 21.37$ 米插入式双筒回转窑，其斜率为4%，转速为1.5~4.8转/分，预热带温度为600℃左右，物料在预热带的运转时间约45分；烧成带温度为1100~1250℃，物料在焙烧带的运转时间为3~5分。其生产流程如图1。

(二) 半干法生产工艺

凡用单一材料不易成型（造粒或成球）或不能满足焙烧要求，需要外加其它辅助物料或用两种以上原料配合后才能满足成型和焙烧要求的，则用半干法工艺较好。在我国有粉末成球工艺和泥浆成球工艺两种。粉煤灰陶粒的生产就是采用这种半干法生产工艺的。

粉煤灰陶粒的主要原材料是粉煤灰，其用量占80%左右，但因缺乏粘性，不仅成球困难，且生料球极易碎散，不能满足焙烧要求。因此必须掺入少量的粘土作粘结剂以改善混合料的塑性，提高生料球的机械强度和热稳定性；同时，粘土的熔点较低，焙烧时起助熔

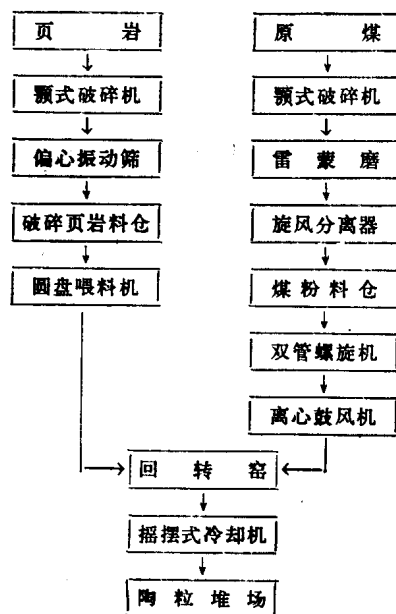


图1 页岩陶粒生产工艺流程图

作用,可提高陶粒的产量。作为粉煤灰的粘结剂、除粘土外,还可因地制宜选用页岩粉、煤矸石粉、纸浆废液等。

当粉煤灰含炭量较低,不能满足焙烧要求时,还需掺入少量的固体燃料以助燃。如无烟煤,焦炭下脚料,炭质煤矸石或含炭量高($>20\%$)的炉渣等粉料。

粉煤灰陶粒的生产一般包括原材料处理,配料及混合、成球、焙烧、成品处理等工艺过程。目前,我国生产粉煤灰陶粒的天津市硅酸盐制品厂采用粉末成球,用成球盘制备生料球,烧结机焙烧的工艺,西安市建工局混凝土制品厂陶粒车间则是采用泥浆成球,高差式双筒回转窑焙烧的工艺。

1.成球盘成球,烧结机焙烧工艺:将粉煤灰、粘土、固体燃料分别加工处理(烘干脱水、磨细等),然后按一定比例混合,再在成球盘上成球。由于生料球的含水率较低,可直接装入烧结机台车进行焙烧,焙烧温度为 $1200\sim 1300^{\circ}\text{C}$,台车运行速度为 $0.25\sim 0.27$ 米/分,焙烧后将烧结的大块用多锤机击碎,最后经筛分后按陶粒和陶砂分别堆放,其工艺流程图如下(图2)。

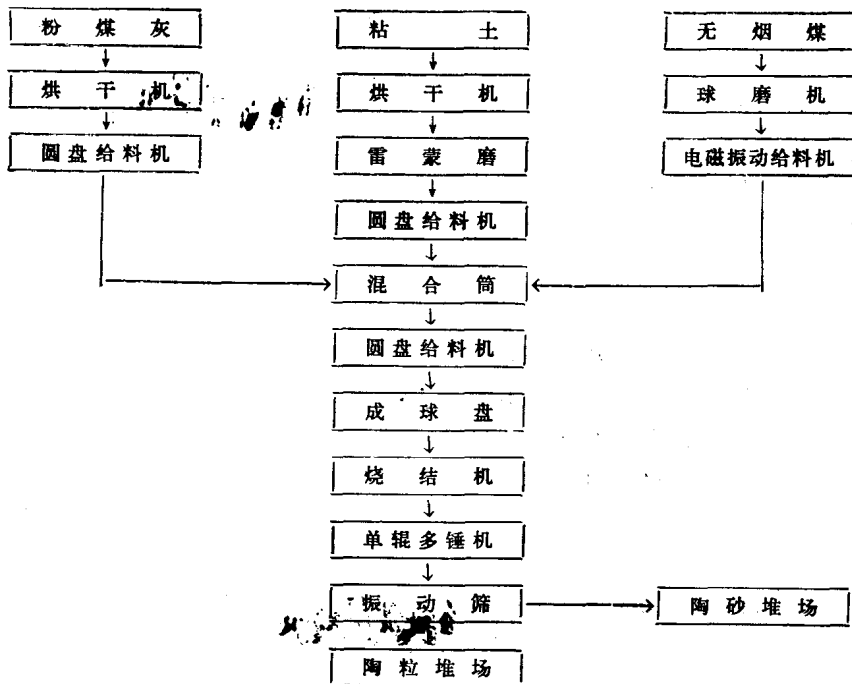


图2 用烧结机生产粉煤灰陶粒的工艺流程图

生产陶粒的烧结机,从国内外的情况来看,其构造形式基本上大同小异,即采用机械传动,台车布满整个环形轨道,这样的系统存在下面一些缺点:

(1) 传动机构庞大而复杂,用钢量大,加工困难,使烧结机的加工生产受到很大限制。

(2) 将近 $2/3$ 的台车在环形轨道上处于空车状态,使用效果甚低,而且由于温差变化大,使台车寿命受到影响。

针对上述两大缺点,东北建筑设计院与甘肃省建工局科研所协作,于1977年对烧结机的传动机构进行了较大的改革,试制成功了一台液压传动、位能快速回车的 1.2 平方米的试验用轻型烧结机。这种轻型烧结机的优点是:(1)用液压传动代替机械传动,取消了

庞大的减速机构和大星形齿轮，加工方便。(2)位能快速回车，即在环形轨道上只有上轨道有台车，头、尾弯道及下轨道全部没有空车。可节省大量钢材，降低建厂造价。

2. 泥浆成球、双筒回转窑生产粉煤灰陶粒的生产工艺：西安市建工局混凝土制品厂生产粉煤灰陶粒是采用泥浆成球和高差式双筒回转窑。其窑型特点是：预热窑和焙烧窑的中心线不在同一轴线上，两个窑可单独调整转速和倾角，以改变预热和焙烧的温度，使之更好地满足陶粒烧成工艺的要求，从而提高产品质量。

泥浆成球工艺是将黄土（或粘土）按体积计量后送至化浆池，与水搅拌成泥浆后由泥浆泵送至过滤机过滤，合格的泥浆进入供浆池，池内有搅拌器搅拌泥浆不致沉淀，再由泥浆泵经稳压罐送往成球盘，并通过喷头的作用使成雾状的泥浆在成球盘内与含水量不大于20%的粉煤灰相混合，通过每分钟10转左右的成球盘旋转作用而产生的离心力，使泥浆与粉煤灰边混合边成球。制成的生料球的含水量约在19.8~23.7%之间。

生料球经皮带机喂入预热窑，窑内温度为450°C左右。料球在预热窑内经25~30分钟运行到窑头。干燥和预热的料球经二窑间连接室的溜槽进入焙烧窑。窑内火焰温度1400~1500°C。物料在焙烧窑中经10~13分钟运行到窑头出料口，并落入摇摆式冷却机，最后经皮带机运往料堆。

烧制粉煤灰陶粒的燃料采用煤焦油。由于煤焦油的含水量高达30%左右，因此先要进行脱水处理。脱水后经过滤器用离心泵送至大油池储存，用时再用泵送至窑头供油箱，经再次加热与过滤，然后用泵经稳压罐送到喷嘴喷入窑内燃烧。

当所用的粉煤灰含水量大于20%时，也可采用与粘土干料拌和的半干法成球工艺。它的工艺流程图如下（图3）。

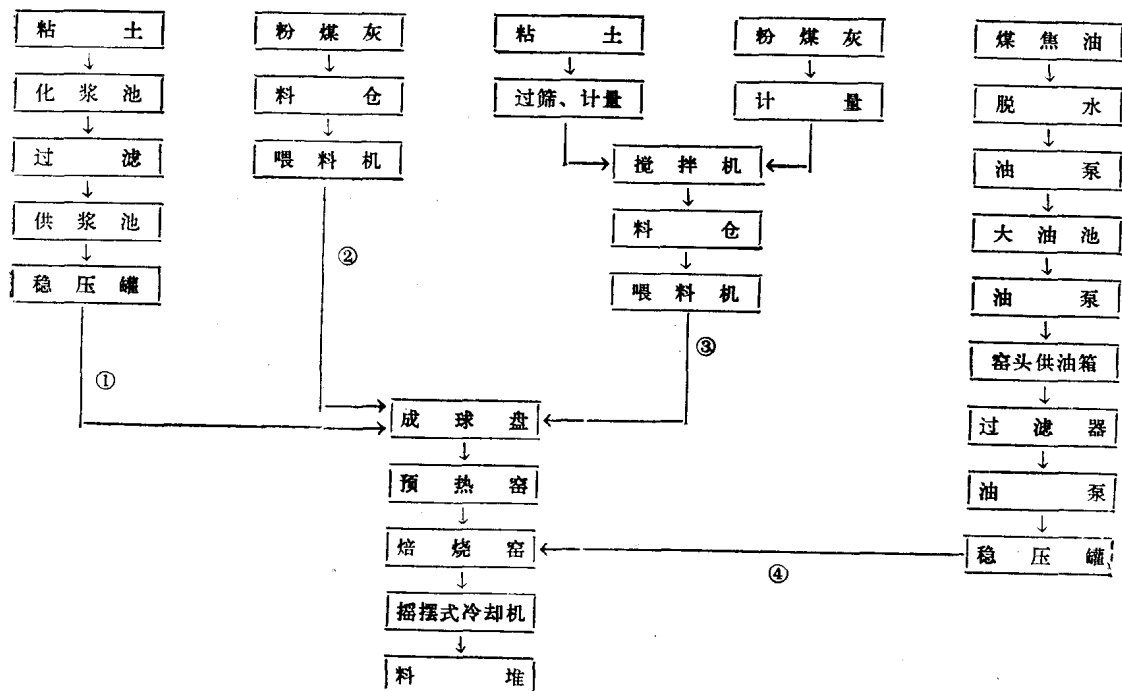


图3 用回转窑生产粉煤灰陶粒的工艺流程图

注：泥浆成球工艺流程由①、②、③三条流程线组成，粉末成球工艺流程由③、④二条流程线组成。