

粉煤灰烧胀陶粒的设计与试验研究

清华大学土木水利学院 王征 郭玉顺

一、前言

1. 研究背景

1998年我国人造轻骨料产量达到300万 m^3 ，品种主要是粘土陶粒，包括普通型和超轻型。原料的来源绝大部分是取于耕地，这是违背国情的原料路线。我国每年的粉煤灰排量达上亿吨，建造贮灰场，大量占地，造成环境污染。基于保护耕地、节能利废的基本国策，应大力发展利用粉煤灰的人造轻骨料。

普通型和超轻型骨料具有保温隔热和耐火等优良性能，但力学性能较差，吸水率较大；而低吸水率和高强度的轻骨料虽然呼吁多年，但因生产工艺复杂、成本高，在我国仍处于起步阶段。2000年天津永定河新桥采用上海粉煤灰陶粒配制高强混凝土是一个良好的开端。在日本，虽然近十年轻骨料的产量急剧下降，从1991年110万 m^3 下降至2000年40万 m^3 ，但是仍成立了全国统一的“高性能轻量混凝土研究委员会”，专门研究利用粉煤灰等废料开发新型陶粒。用粉煤灰烧制高强陶粒是一条切实可行的技术路线。

2. 陶粒烧胀模式

目前市场上的粗轻骨料分为烧结型和烧胀型两种。烧结型陶粒开口孔多、吸水率大、表面密度偏大；烧胀型陶粒呈闭孔、吸水率低、强度高，性能优异。众所周知：经高温焙烧而膨胀的试样，必须同时具备两个条件：

- (1). 物料在高温下能够形成适宜的液相粘度。
- (2). 当物料达到一定液相粘度时，产生足够的气体。

根据笔者高温在线气相色谱分析得知，轻骨料的膨胀模式是：在膨胀温度范围内膨胀的气体并非是“被适宜粘度的液相所包围”，而是一直强烈的逸出，“膨胀过程是膨胀气体一直强烈逸出与适宜粘度液相抑制气体逸出的动态平衡过程”。由此获得膨胀良好的均质多孔性陶粒。

二、粉煤灰陶粒烧胀机理分析与配合比设计

1. 原材料

(1) 1# 粉煤灰

1# 粉煤灰来自内蒙赤峰发电厂的1级粉煤灰，过80 μm 筛筛余量2.1%，化学成分见表1。

(2)珍珠岩尾矿粉

膨胀珍珠岩是一种质优价廉的保温隔热材料。我国目前的生产能力约为 700 万吨 / 年。珍珠岩矿石在开采和加工（破碎）过程中会产生大量的废弃物——尾矿粉。这些尾矿粉的堆放不仅需占用大量的土地，而且会造成粉尘飞扬，污染环境，成为社会公害。因此，开发利用这些尾矿粉，使其变废为宝，化害为利，具有极大的经济和社会意义。

表 1 主要原料的化学成分含量 (%)

原料种类	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	烧失量
1 [#] 粉煤灰	59.16	20.31	8.42	3.65	1.75	2.71	1.44	0.15	0.92	0.31	1.28
珍珠岩尾矿粉	65.2	14.38	2.86	0.41	0.12	0.58	0.75	4.29	5.43	0.16	5.82
剥离黄土	48.96	16.78	9.05	3.65	2.09	2.46	0.24	0.10	1.90	0.23	14.56
剥离红土	58.68	19.15	7.91	0.24	0.88	1.57	0.16	0.05	1.35	0.22	9.91
2 [#] 粉煤灰	42.63	24.87	9.59	7.87	4.45	1.94	0.23	0.07	2.07	0.54	5.79

由表 1 可以看出该珍珠岩尾矿粉的 Al₂O₃ 含量偏低，MgO 和 CaO 含量低，K₂O 和 Na₂O 含量较高，而且含有结晶水。加入珍珠岩可以降低原料的熔融温度和液相粘度，并在焙烧过程中增加膨胀气体的产生，有利于料球的膨胀。

珍珠岩尾矿粉的差热分析曲线见图 1 所示。图中尾矿粉在 95℃ 左右显示吸热谷，这是由于物理吸附水激烈排出所致。在 282℃ 处有吸热谷，这是部分结晶水逸出所致。这部分结晶水如不能及时排除，则在焙烧陶粒时便会产生炸裂粉化现象。因此，在陶粒料球焙烧前必须先经过预热处理。

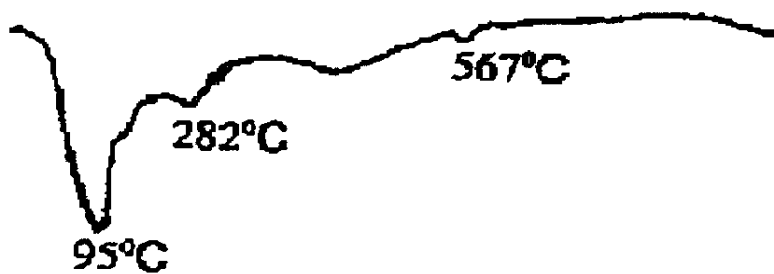


图 1 珍珠岩尾矿粉的差热分析曲线

(3)剥离黄土

该剥离黄土来自云南煤矿，呈米黄色，吸水性强，吸水后粘度大。剥离黄土本身就可作增粘剂使用。由表 1 可以看出，剥离黄土的烧失量比较大，这就需要注意采用适宜的预热制度以减少多余的有机质。

(4)剥离红土

该剥离红土来自云南煤矿，呈深红色，吸水后粘度大。其化学成分如表 1 所示。与剥离黄土相比，剥离红土中的 CaO 和 MgO 的含量比较小。

(5) 2#粉煤灰

2#粉煤灰来自云南煤矿，颗粒较粗，吸水后粘度很小。其化学成分如表 1 所示。这种 2#粉煤灰的 K_2O 和 Na_2O 含量比较少，但总的熔剂含量并不少。

(6) 助熔剂

为无机盐，采用一定浓度的助熔剂水溶液拌合混合料成型，目的是降低原料的熔融温度和液相粘度。

2. 化学成分与粘度关系

由表 1 可知原料成分主要有 SiO_2 、 Al_2O_3 和熔剂成分。熔剂成分包括 CaO 、 MgO 、 MnO 、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 、 TiO_2 等。Riley 在研究粘土陶粒的烧胀性的时候，发现在普通陶粒烧胀温度范围内，当所用粘土的化学成分满足某一范围时，所得陶粒均具有良好的烧胀性。据此他提出了用三元法表示原料化学成分的 Riley 三角形，并具体圈定形成适宜粘度的化学成分范围（如图 2 所示）。

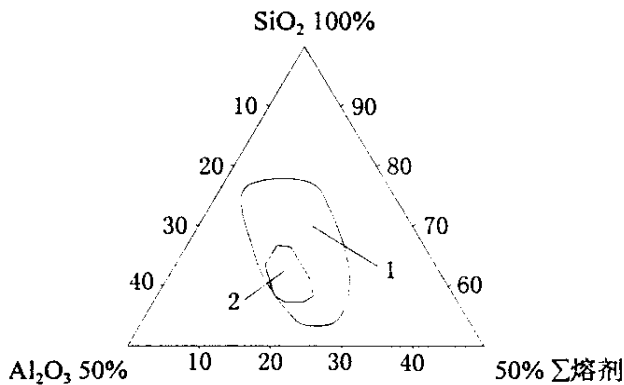


图 2 Riley 相图适宜粘度的化学成分范围

(说明 1: 形成适宜粘度的化学成分范围; 2: 高强陶粒较佳化学成分范围)

Riley 相图指出形成适宜粘度的化学成分范围为 SiO_2 53%~79%， Al_2O_3 10%~25%， Σ 熔剂 3%~26%。

试验证实，陶粒原料中 SiO_2 、 Al_2O_3 含量越高，要达到一定粘度，需要较高的温度，若熔剂成分含量高，则要达到一定粘度，需要的温度降低。各种熔剂成分的助熔效果各不相同， CaO 、 MgO 、 Fe_2O_3 低温助熔效果不佳，而在高温下，温度稍有提高，熔液量就急剧增加； K_2O 、 Na_2O 属于强助熔剂，不仅能降低熔融温度，而且助熔温度范围较宽。

根据已有研究成果，为烧制高强陶粒，混合料的较佳化学成分： SiO_2 55%~65%、 Al_2O_3 18%~25%、 $(Fe_2O_3 + FeO)$ 6%~10%、 $(CaO + MgO)$ 4%~6%、 $(K_2O + Na_2O)$ 2%~5%、烧失量 3%~5%。将此范围换算成 Riley 三角形中的数值，可得此范围为： SiO_2 57.3%~67.7%、

Al_2O_3 18.8%~26.0%、 $(\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})$ 6.3%~10.4%、 $(\text{CaO} + \text{MgO})$ 4.2%~6.3%、 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 2.1%~5.2%，其中后三者合并为 Σ 熔剂 12.6%~21.9%。再将此范围表示在 Riley 三角形中，我们发现，烧制高强陶粒的混合料化学成分在 Riley 三角形指出的适宜粘度范围偏向 Al_2O_3 部分，如图 2 所示。根据我们的经验，烧制高强陶粒，平均焙烧温度需提高 50°C ~ 100°C 。

对于超轻陶粒，其 Al_2O_3 为较佳化学成分的偏低限值，而熔剂成分为偏高限值，相应焙烧温度较低。

3. 粉煤灰成分所处的位置及方案的选择

试验用原料主要是 1#粉煤灰和 2#粉煤灰。其中 1#粉煤灰符合高强陶粒所要求的原料化学成分范围；珍珠岩尾矿粉中 MgO 和 CaO 含量较低，而 K_2O 和 Na_2O 含量较高；两者按比例混合可改善陶粒的膨胀性能。试验采用的 1#粉煤灰陶粒的配比如表 2 所示。

表 2 1#粉煤灰陶粒配比

试样序号	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
1#粉煤灰 (%)	20	40	50	60	70	80	90	100
珍珠岩尾矿粉 (%)	80	60	50	40	30	20	10	0
水料比	0.30	0.26	0.24	0.23	0.24	0.24	0.24	0.25

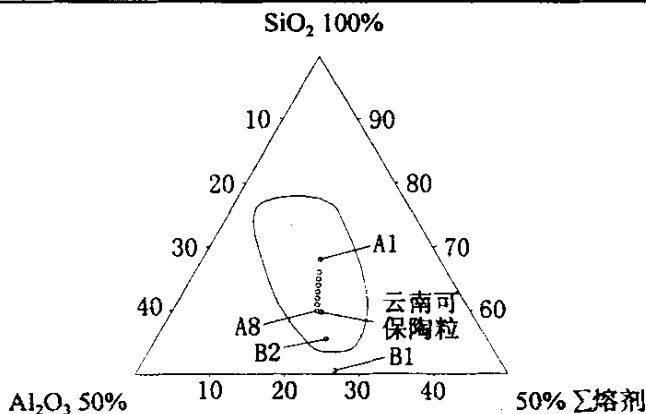


图 3 试验用粉煤灰混合料化学成分在 Riley 相图中的位置

(图中表示 A 组混合料化学成分的点编号从上至下依次为 A1~A8)

以上几组混合料的化学成分在 Riley 相图中的位置如图 3 中所示。由图 3 可以看出：随着粉煤灰含量的增加，混合料的化学成分在 Riley 相图中的位置从上垂直向下移动，但均在形成适宜粘度的化学成分范围的中央位置。

2#粉煤灰中 SiO_2 的含量比较少，为了能满足高强陶粒所要求的化学成分，将剥离黄土加入 2#粉煤灰、或将剥离黄土与剥离红土同时加入 2#粉煤灰，其原料配比如表 3 所示。

这两组混合料的化学成分在 Riley 相图中的位置也表示在图 3 中。

表 3 2#粉煤灰陶粒原料配比

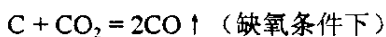
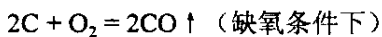
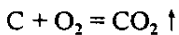
序号	剥离黄土	剥离红土	2#粉煤灰	助熔剂	水料比
B1	50%	/	50%	5%溶液成型	0.36
B2	50%	25%	25%	5%溶液成型	0.40

B1 的化学成分位于适宜粘度范围之外，主要是 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 的含量比较高（分别为 10.30%、6.36%、3.61%）， $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 的含量（为 3.84%）适中。因此，在较低的温度下有可能烧制出高强陶粒。B2 的化学成分在 Riley 相图中适宜粘度范围的底部位置。B1 和 B2 的烧失量比较大，应在高温下预热，以减少多余的有机质。

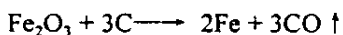
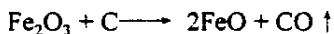
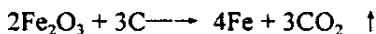
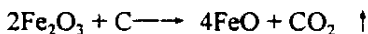
4. 化学成分与高温膨胀气体的关系

对于粉煤灰、珍珠岩尾矿粉和粘土为主的原料，在 105°C 下干燥可以除去多余的游离水，以防止在预热或焙烧过程中料球开裂。较高温度下加热能产生气体的因素很多，主要是有机物、氧化铁和某些矿物的结晶水。上述各种物质在不同温度下产生气体的剧烈程度也各不相同，因此，在不同温度范围内，气体是由何种物质产生的，也不是固定不变的。产生气体的反应大致如下：

(1). 在 $400\sim 900^\circ\text{C}$ ，有机物析出其挥发物和干馏产物，生成 CO_2 ，而在快速升温或缺氧条件下，有机物被氧化成 CO ，温度一直延续至其软化温度附近。可表示为：



(2). 对于粉煤灰与粘土制成的陶粒，膨胀温度范围内逸出的气体主要是氧化铁的分解与还原，生成 CO_2 和 CO 。



试验表明：在氧化气氛下， CO 从 600°C 左右开始产生；当温度超过 1000°C 时， CO 逸出量增多。由于 CO 是 Fe_2O_3 与炭之间反应的产物，它的出现不仅消耗未燃尽炭，而且消耗 Fe_2O_3 。所以经 600°C 以上温度长时间预热的试样，其膨胀性会受到影响。在陶粒的膨胀温度范围内，逸出的气体主要是 CO ，说明 CO 是主要膨胀气体。

综上所述，粉煤灰陶粒的高温膨胀是多种因素、多种反应共同作用的结果。陶粒原料的化学成分、矿物组成不同，以及生产工艺条件和参数的差异，都会对陶粒的膨胀性能产生很

大影响。在预热的时候，随着预热温度升高或恒温时间延长，消耗的只是原料中的未燃尽炭，因此预热可以使过多的含炭量降低，但不影响膨胀；却使含炭量少的试样膨胀性能变差。

三、烧胀试验及结果分析

1. 预热制度的影响

试验发现，对于同样的配比，在低温下预热的料球，经适宜的焙烧制度可得到超轻陶粒；在高温下长时间预热的料球，经适宜的焙烧制度则获得高强陶粒。

试验时的预热方式是料球在 400℃ 下预热 10 分钟，取出部分料球，接着炉温升至 500℃ 恒温 10 分钟后，再取出部分料球，然后炉温升至 600℃ 恒温 10 分钟后，取出剩余的料球。所有料球均是在 1200℃ 下焙烧 10 分钟。试验结果如表 4 所示。

表 4 1200℃ 下焙烧 10 分钟陶粒性能测定结果

序号	预热温度 (°C)	预热时间 (min)	吸水率 (%)	表观密度 (g/cm ³)	漂浮率 (%)	颗粒受力 (N) *
B1	400	10	4.95	0.92	48.9	202
B1	500	10	6.82	1.28	0	467
B1	600	10	4.59	1.31	0	658
B2	400	10	4.92	0.75	88.3	138
B2	500	10	4.31	0.90	52.8	182
B2	600	10	2.29	1.31	0	912

*颗粒受力测定在 0~2000N 的压力机上进行，其值为至少 5 个颗粒受力的平均值，以下同。

结果分析：

(1) 无论是 B1，还是 B2，均是随着预热温度升高表观密度下降，颗粒强度提高。即证明了：低温预热可得超轻陶粒，高温预热可得高强陶粒。

(2) 在相同预热和相同焙烧条件下，B1 膨胀性能不及 B2，主要原因是 B2 的化学成分处于 Riley 三角形适宜粘度范围之内，而 B1 在该范围之外。

2. 焙烧制度的影响

(1) 2#粉煤灰陶粒的适宜焙烧温度

含 2#粉煤灰的料球经 600℃ 预热 10 分钟后，在几个温度下焙烧所得陶粒的性能如表 5 所示。通过表 4 和表 5，我们发现对于 2#粉煤灰陶粒，在 600℃ 预热 10 分钟后，经 1160℃~1200℃ 焙烧适当的时间，可得强度较高的陶粒。

表5 600℃预热 10 分钟后在不同焙烧制度下所得 2*粉煤灰陶粒的性能

序号	焙烧温度 (℃)	焙烧时间 (min)	表观密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	颗粒受力 (N)
B1	1120	10	1.40	8.09	427
B1	1140	10	1.38	7.04	497
B1	1160	10	1.22	2.68	630
B2	1120	10	1.56	5.80	785
B2	1140	10	1.52	4.88	690
B2	1160	10	1.27	2.30	710

结果分析:

(1) B1 化学成分在 Riley 三角形适宜粘度的化学成分范围之外, 虽能烧胀但与 B2 (B2 化学成分在 Riley 三角形适宜粘度的化学成分范围之内) 相比, 强度低, 吸水率大, 其原因是 B1 的熔剂成分较 B2 多, 而 SiO₂ 较少。

(2) 高温快速焙烧得超轻陶粒

对于同样的配比, 高温快速焙烧可得超轻陶粒。将料球在 400℃下预热 10 分钟, 然后在膨胀温度范围内的高温下快速焙烧, 使其同时具备适宜粘度和适量气体, 所得陶粒的膨胀性如表 6 所示。

表6 高温快速焙烧所得陶粒的膨胀性

序号	焙烧温度 (℃)	焙烧时间 (min)	表观密度 (g/cm ³)	膨胀率	漂浮率 (%)
A4	1260	5	0.69	3.36	100
A5	1260	5	0.66	3.53	100
A6	1260	5	0.61	3.82	100
A7	1260	5	0.65	3.6	100
A8	1260	5	0.68	3.44	100
A4	1240	6	0.72	3.22	100
A6	1240	6	0.64	3.64	100
A7	1240	6	0.68	3.44	100

结果分析: 以 1*粉煤灰为主的料球在 400℃下预热 10 分钟后, 经高温快速焙烧可得膨胀率大于 3 的超轻陶粒。这些陶粒内部有大量均匀分布的封闭气泡。

2. 低温慢烧得高强陶粒

将料球在 400℃下预热 10 分钟后, 在较低温度下焙烧, 所得陶粒的膨胀性如表 7 所示。

结果分析: 当 1*粉煤灰含量在 20%~100%之间时, 料球在 400℃下预热 10 分钟后, 低温长时间焙烧可得吸水率较低且强度较高的陶粒。其中经 1180℃焙烧 10 分钟, 可得有一定膨

胀性且强度较高的陶粒；而在 1150℃ 下，由于粘度不够，陶粒基本未膨胀。

表 7 低温长时间焙烧所得粉煤灰陶粒的性能

序号	焙烧温度 (℃)	焙烧时间 (min)	表观密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	颗粒受力 (N)
A1	1150	10	2.11	0.73	1670
A3	1150	10	1.91	1.69	1367
A5	1150	10	1.85	1.68	1410
A8	1150	10	1.71	1.31	1310
A1	1180	10	1.25	0.21	1110
A3	1180	10	1.23	0.37	890
A5	1180	10	1.34	0.48	1010
A8	1180	10	1.33	0.61	1213

4. 优化焙烧制度得到优质陶粒

低温焙烧所得陶粒，虽然强度较高，但是表观密度较大。料球在 1180℃~1260℃ 范围焙烧，可以得到既超轻又高强且吸水率很低的粉煤灰陶粒，表 8 列出了 400℃ 预热 10 分钟，经 1210℃ 焙烧的陶粒性能。

结果分析：1#粉煤灰含量在 20%~100% 之间的 A1~A8 试样，在 400℃ 下预热 10 分钟后，1210℃ 下焙烧 10 分钟，可得表观密度小于 1.00 g/cm³，吸水率不大于 1.2%，颗粒强度较高的超轻陶粒。

表 8 可同时满足超轻、低吸水率的粉煤灰陶粒性能

序号	焙烧温度 (℃)	焙烧时间 (min)	表观密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	颗粒受力 (N)
A1	1210	10	0.90	0.18	852
A3	1210	10	0.80	0.25	565
A5	1210	10	0.80	0.60	465
A8	1210	10	0.97	1.17	615

5. 配比与陶粒性能关系

根据表 7、表 8，1#粉煤灰陶粒的表观密度和颗粒受力结果用图 4 和图 5 表示如下。

由图 4、图 5 和表 6 的结果分析：

(1). 1#粉煤灰掺量在 20%~100% 范围内，经 1150℃~1210℃ 所烧制的陶粒，在相同温度下，1#粉煤灰掺量对其表观密度和颗粒受力的影响不大。对于相同配比，随着焙烧温度的升

高，表观密度减小，颗粒受力降低。

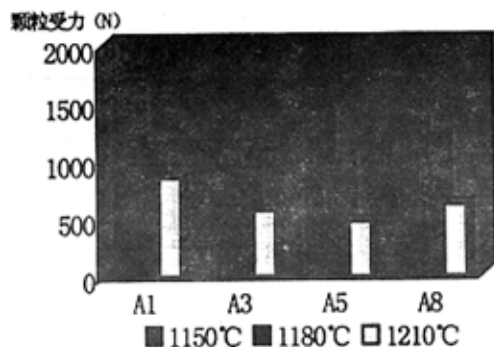


图4 1#粉煤灰陶粒颗粒受力与焙烧温度的关系

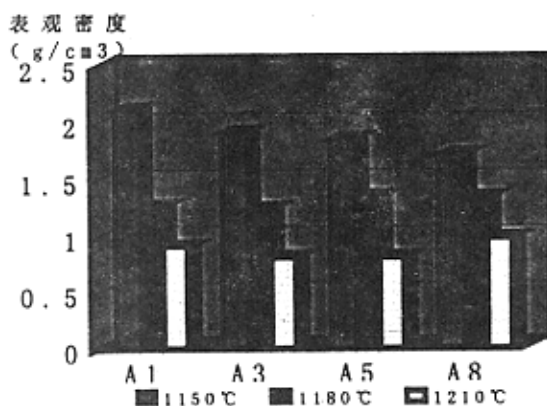


图5 1#粉煤灰陶粒表观密度与焙烧温度的关系

(2). 1#粉煤灰掺量 60%~100%的试样，经 1240℃~1260℃焙烧，均能得到超轻陶粒。

(3). 即使粉煤灰利用率 100%，只要其化学成分在适宜粘度的化学成分范围之内，又能良好成球的，就有可能烧制出具有良好性能的陶粒。

四、试验室烧制的陶粒与回转窑生产陶粒的比较

1. 云南可保陶粒的性能

云南可保公司采用与试验室相近的配比（原料化学成分在 Riley 三角形中的位置如图 3 所示），在 5 万立方米回转窑里生产的陶粒性能如下。

(1). 颗粒级配，测定结果见表 9。

(2). 表观密度：1.25g/cm³

(3). 堆积密度：700kg/m³

(4). 筒压强度：7.0MPa；

(5). 吸水率：12.3%；

(6). 漂浮率：0；

(7)颗粒受力：与粒径有关：直径大者，强度高，结果见表10。

表9 云南可保陶粒的颗粒级配

筛孔尺寸	>20mm	>16mm	>10mm	>5mm	≤5mm
第一次	4.0	6.0	74.6	15.4	0
第二次	1.4	4.2	77.4	17.0	0
第三次	1.0	5.0	71.9	21.9	0.2
第四次	0.7	3.3	78.1	17.8	0.1
平均分计筛余 (%)	1.8	4.6	75.5	18.0	0.1
平均累计筛余 (%)	1.8	6.4	81.9	99.9	100.0
结果评定	最大粒径为20mm，粒型多为长条形，不规则。				

表10 云南可保陶粒的强度

粒径 (mm)	>20	>16	>10	>5
颗粒受力 (N)	690	470	310	220

2. 可保陶粒与试验室烧制陶粒性能的比较

由于试验过程中烧制的各种陶粒很少，无法做筒压试验，所以先将实验室烧出陶粒与可保陶粒的性能比较（见表11），再用国标来检验。

表11 可保陶粒与试验室烧制的陶粒性能比较

比较项目		表观密度 (g/cm ³)	颗粒受力 (N)	吸水率 (%)
可保陶粒		1.25	690	12.3
A3	1180℃焙烧 10 分钟	1.23	890	0.37
A5		1.34	1010	0.48
A8		1.33	1213	0.61
B2	1200℃10分钟	1.31	912	2.29
B2	1160℃10分钟	1.27	710	2.30
结果比较		试验=可保的	试验的>可保的	试验<<可保的

可保陶粒筒压强度值与国标规定值比较见表12；吸水率比较见表13。

表12 可保陶粒与国标高强陶粒筒压强度比较

比较项目	堆积密度等级	筒压强度
可保陶粒	700	实测 7.0MPa
高强陶粒标准 (GB/T 17431.1—1998)	700	规定不小于 5.0MPa
	800	规定不小于 6.0MPa

结果评定：可保陶粒筒压强度实测值满足国标规定的同等密度等级的高强陶粒筒压强度最小值要求。

表 13 可保陶粒与国标高强陶粒吸水率比较

比较项目		依据标准	堆积密度等级	吸水率 (%)
可保陶粒		GB/T 17431.1—1998	700	实测 12.3
高强陶粒	粘土陶粒	GB/T 17431.1—1998	600~900	规定不大于 8
	页岩陶粒			
	粉煤灰陶粒	GB/T 17431.1—1998	600~900	规定不大于 15

结果评定：可保陶粒的吸水率仅满足国标规定的高强陶粒中粉煤灰陶粒吸水率最小值的要求；不能满足粘土陶粒、页岩陶粒的吸水率规定。

结果分析：实验室烧出的粉煤灰陶粒成分与可保厂陶粒的相近，颗粒受力均高于可保厂的陶粒，有理由得出：实验室陶粒的筒压强度大于 7MPa，吸水率低于 2%，以上指标均达到 GB/T 17431.1—1998 对高强陶粒的性能规定。按照实验室的配合比在生产线上可生产出优于可保生产的陶粒。

五、陶粒混凝土性能

1. 试验配制混凝土所用的原材料：

- (1). 粗轻骨料：北京粘土陶粒、云南陶粒和石子；
- (2). 细骨料：北京中砂；
- (3). 外加剂：FND-A 高效减水剂（加入量占胶结料重量的 1%，可减少用水量 15%）；
- (4). 水泥：普硅 525*水泥；
- (5). 粉煤灰：二级粉煤灰；
- (6). 水：自来水。

2. 采用的混凝土配合比如表 14 所示。

表 14 混凝土配合比 (Kg/m³)

骨料种类	粗骨料	砂	水泥	粉煤灰	水	FND-A 减水剂	W/C	砂率	总重
石子	1185	663	365	41	162	4.05	0.40	0.36	2420
可保陶粒	653	663	365	41	162	4.05	0.40	0.36	1888
北京陶粒	555	663	365	41	162	4.05	0.40	0.36	1790

用可保陶粒可以配制出 46MPa 的混凝土，通过表 13 的颗粒受力比较，得知实验室烧制的陶粒颗粒受力大于可保陶粒，则可以预测用实验室所得的粉煤灰高强陶粒可以配制出 CL40

以上的混凝土。

表 15 标准养护 28 天的混凝土试块性能

试块种类	表观密度 (g/cm ³)	抗压强度 (MPa)	比强度
石子混凝土	2.42	78	32.2
北京陶粒混凝土	1.69	37	21.9
可保陶粒混凝土	1.71	46	26.9

六、结论

1. 可以根据形成适宜粘度的化学成分范围对陶粒进行配合比设计。其中高强陶粒的化学成分位于 Riley 三角形中适宜粘度的化学成分范围的左下部分, 工艺条件是比常用粘土陶粒焙烧温度提高 50℃~100℃。

2. 以 1#粉煤灰为主加入珍珠岩尾矿粉的料球在 400℃下预热 10 分钟后, 经 1240℃~1260℃焙烧 5 分钟, 可得膨胀率大于 3 的粉煤灰陶粒。在 1180℃下焙烧 10 分钟, 可得表观密度 1.23~1.35 g/cm³, 吸水率小于 1%, 且强度较高的陶粒。而在 1210℃焙烧 10 分钟, 可得表观密度小于 1.00 g/cm³、吸水率小于 2%、强度较高的超轻陶粒。

3. 2#粉煤灰与剥离黄土, 或再加剥离红土混合, 所得料球在 1200℃焙烧 10 分钟, 经 400℃或 500℃预热, 可得超轻陶粒; 经 600℃预热, 可得高强陶粒。若料球在 600℃下预热 10 分钟, 然后在 1160℃~1200℃之间焙烧 10 分钟可得表观密度 1.22~1.31 g/cm³, 吸水率小于 5%, 强度较高的粉煤灰陶粒。

4. 通过理论分析和试验研究, Riley 所划定的适宜粘度化学成分范围是对以粘土为主要原料且常规的烧胀温度条件下而言的; 针对粉煤灰等原料, 有可能通过适当提高焙烧温度, 即使在 Riley 划定的范围之外, 也可获得烧胀型陶粒。

5. 通过与云南可保生产线生产的陶粒比较, 可以预测试验室烧制的陶粒表观密度 1.22~1.35 g/cm³、颗粒受力大于 690N、筒压强度可大于 7.0Mpa、吸水率小于 5%; 用这种陶粒可以配制 CL40 以上、表观密度不大于 1750kg/m³ 的陶粒混凝土。