

浅析中空玻璃倾斜使用

郭明 王红兵

洛玻集团洛阳新晶润工程玻璃有限公司 河南洛阳 471003

摘要 本文通过分析几种常见中空玻璃的U值，随安装倾斜角度变化的数据，提出不同配置的中空玻璃，在不同使用环境下的最佳选择。

关键词 中空玻璃 U值 倾斜

1 前言

一般情况下，中空玻璃都是垂直安装使用，目前中空玻璃的应用范围越来越广泛，例如应用于温室或斜坡屋顶时，其安装角度将会发生改变。当安装角度变化时，中空玻璃内部气体的对流状态也会随之而改变，这必将影响气体传递热量的效果，导致中空玻璃的U值发生变化。以常用的6+12+6mm双白中空玻璃为例，垂直安装时冬季U值为 $2.69\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ，水平安装时冬季U值为 $3.25\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ ，增加了21%，也就是玻璃的保温性能降低了近20%，需要消耗更多的供暖费用。所以当中空玻璃被水平安装使用时，必须考虑U值变大对建筑节能效果的影响。但应注意在玻璃水平或倾斜使用时，只有室外温度小于室内温度，即其冬季U值变化明显，而室内温度大于室外温度时，即夏季U值变化并不明显。

2 中空玻璃U值随倾斜角度变化趋势

不同配置的中空玻璃，在不同倾斜角度下的冬季U值和夏季U值，变化趋势各不相同，下面对6mm玻璃白玻组成的几种常见中空玻璃，在不同倾斜角度下的冬季U值和夏季U值数据，进行简要分析。下文中对玻璃配置的描述，按照外片玻璃、间隔框（铝框）、内片玻璃的顺序进行。描述双中空玻璃时提到的第一面，指的是中空玻璃的室外面，室内面为第六面，其它各面以此类推。玻璃倾斜90度表示其垂直地面，0度表示与地面平行。

文中选用的阳光控制膜玻璃，为我公司产品JSC-40，基片为白玻，成品为银灰色，可见光透过率为41%，膜面辐射率为0.71；选用的低辐射膜玻璃，为我公司产品JTEC-0760，基片为白玻，成品为银蓝色，可见光透过率为61%，膜面辐射率为0.081。

2.1 单片白玻在不同倾斜角度下的U值

表1 6mm单片白玻在不同倾斜角度下的U值

倾斜角度(度)	冬季U值($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)	夏季U值($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$)
90	5.82	5.25
80	5.81	5.24
70	5.79	5.23
60	6.09	5.21
50	6.39	5.26
40	6.53	5.4
30	6.6	5.46
20	6.63	5.48
10	6.66	5.51
0	6.66	5.51

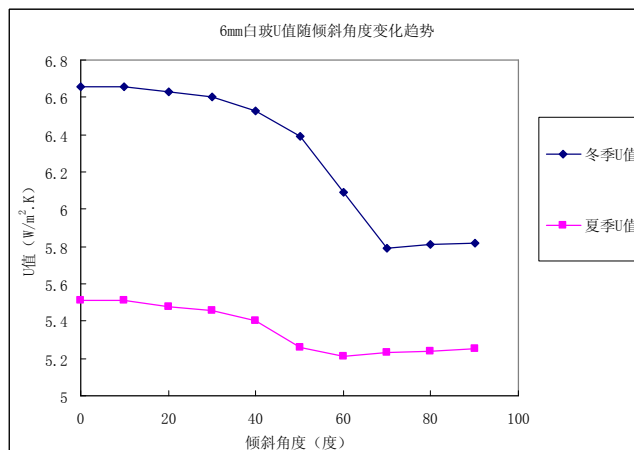


图1 单片白玻U值随倾斜角度变化趋势图

6mm白玻冬季U值，水平使用比垂直使用增加14.43%，倾斜0-30度基本相同，倾斜较轻时（70-90度）基本相同。

6mm白玻夏季U值，水平使用比垂直使用增加不多，只有4.95%，倾斜0-20度基本相同，倾斜较轻时（60-90度）基本相同。

2.2 双白中空玻璃在不同倾斜角度下的U值

表2 双白中空玻璃在不同倾斜角度下的冬季U值

倾斜角度 (度)	6/6/6 U值 (W/m ² .K)	6/9/6 U值 (W/m ² .K)	6/12/6 U值 (W/m ² .K)	6/16/6 U值 (W/m ² .K)	6/6/6充氩气U值 (W/m ² .K)	6/9/6充氩气U值 (W/m ² .K)	6/12/6充氩气U值 (W/m ² .K)	6/16/6充氩气U值 (W/m ² .K)
90	3.11	2.84	2.69	2.7	2.85	2.63	2.54	2.55
80	3.11	2.84	2.72	2.74	2.85	2.63	2.57	2.58
70	3.12	2.84	2.75	2.78	2.84	2.62	2.59	2.61
60	3.12	2.84	2.79	2.82	2.84	2.62	2.62	2.64
50	3.21	2.91	2.93	2.98	2.92	2.68	2.74	2.79
40	3.25	2.94	3.03	3.07	2.96	2.75	2.83	2.86
30	3.27	3.0	3.11	3.14	2.97	2.83	2.89	2.91
20	3.28	3.06	3.17	3.18	2.98	2.9	2.95	2.95
10	3.29	3.13	3.23	3.22	2.99	2.96	2.99	2.97
0	3.29	3.15	3.25	3.23	2.99	2.99	3.01	2.98

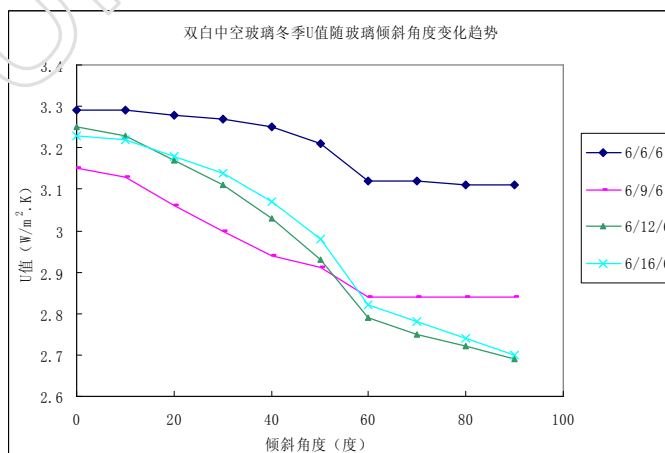


图2 双白中空玻璃冬季U值随倾斜角度变化趋势图

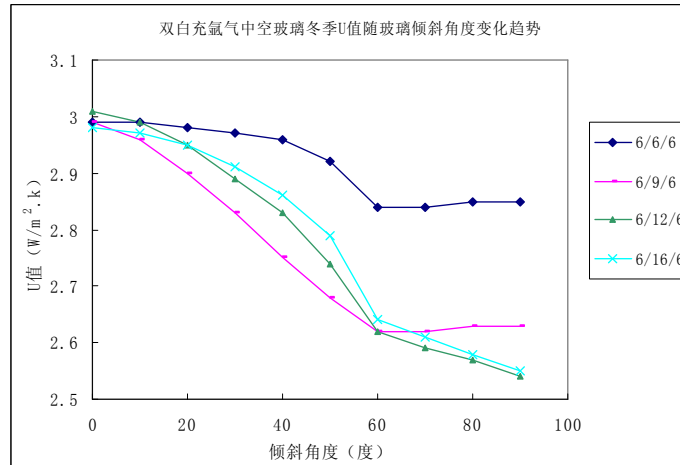


图3 双白充氩气中空玻璃冬季U值随倾斜角度变化趋势图

双白中空玻璃冬季U值，6mm间隔框水平使用比垂直使用增加5.79%，9mm增加10.92%，12mm和16mm增加20%左右，在水平或倾斜（0-50度）使用时，6/9/6中空玻璃的U值最小，是最佳选择；倾斜较轻时（60-90度），12、16mm间隔框的中空玻璃U值随倾斜角度变化非常明显，6、9mm间隔框的中空玻璃U值变化很小，6/12/6中空玻璃的U值最小，是最佳选择。

充入氩气后，6、9mm间隔框的中空玻璃，倾斜较轻时（60-90度）U值变化很小，12、16mm间隔框的中空玻璃，U值随倾斜角度变化非常明显。在倾斜0-60度使用时，9、12、16mm间隔框中空玻璃U值随倾斜角度变化非常明显，水平时各种间隔框中空玻璃U值基本一样，因此6mm间隔框中空玻璃是最经济，也是最佳选择。在倾斜角10-60度使用时，9mm间隔框中空玻璃是最佳选择。

在寒冷地区水平使用双白中空玻璃时，充氩气最佳性能玻璃（6/6/6mm），比不充氩气最佳性能玻璃（6/9/6mm），不但经济，而且保温性能提高5.35%。

表3 双白中空玻璃在不同倾斜角度下的夏季U值

倾斜角度 (度)	6/6/6 U值 (W/m²·K)	6/9/6 U值 (W/m²·K)	6/12/6 U值 (W/m²·K)	6/16/6 U值 (W/m²·K)	6/6/6充氩气U值 (W/m²·K)	6/9/6充氩气U值 (W/m²·K)	6/12/6充氩气U值 (W/m²·K)	6/16/6充氩气U值 (W/m²·K)
90	3.19	2.97	2.82	2.74	2.98	2.8	2.71	2.63
80	3.19	2.97	2.82	2.74	2.98	2.8	2.7	2.63
70	3.18	2.96	2.82	2.74	2.98	2.8	2.7	2.62
60	3.17	2.96	2.84	2.73	2.97	2.79	2.7	2.62
50	3.16	2.95	2.8	2.72	2.96	2.79	2.69	2.61
40	3.22	2.99	2.84	2.75	3	2.82	2.72	2.64
30	3.24	3.01	2.86	2.77	3.02	2.84	2.74	2.66
20	3.25	3.02	2.87	2.78	3.03	2.85	2.74	2.66
10	3.26	3.03	2.87	2.79	3.04	2.86	2.75	2.67
0	3.26	3.03	2.87	2.79	3.04	2.86	2.75	2.67

双白中空玻璃夏季U值，水平使用比垂直使用增加不多，只有2%左右，玻璃间隔越大，隔热效果越好，充入氩气只能降低7%左右的U值，玻璃间隔框越大，隔热效果越好。因此在炎热地区使用双白中空玻璃，不管安装倾斜角度如何，都是间隔框越厚越好，同时应综合考虑玻璃生产和安装成本。由于双白中空玻璃遮阳系数非常大，因此非特殊原因，不建议在炎热地区使用双白中空玻璃。

2.3 阳光控制膜中空玻璃在不同倾斜角度下的U值

阳光控制膜在中空玻璃的第2面和第3面U值相同，这里以第2面为例。

表4 阳光控制膜中空玻璃在不同倾斜角度下的冬季U值

倾斜角度 (度)	6/6/6 U值 (W/m ² ·K)	6/9/6 U值 (W/m ² ·K)	6/12/6 U值 (W/m ² ·K)	6/16/6 U值 (W/m ² ·K)	6/6/6充氩气U值 (W/m ² ·K)	6/9/6充氩气U值 (W/m ² ·K)	6/12/6充氩气U值 (W/m ² ·K)	6/16/6充氩气U值 (W/m ² ·K)
90	3.03	2.73	2.59	2.58	2.74	2.5	2.4	2.42
80	3.03	2.73	2.62	2.63	2.74	2.5	2.44	2.46
70	3.03	2.73	2.64	2.67	2.73	2.49	2.47	2.49
60	3.03	2.73	2.67	2.71	2.73	2.49	2.49	2.52
50	3.11	2.79	2.81	2.88	2.8	2.55	2.62	2.67
40	3.15	2.83	2.92	2.97	2.84	2.62	2.71	2.74
30	3.17	2.89	3.01	3.04	2.85	2.71	2.77	2.8
20	3.18	2.97	3.08	3.08	2.86	2.79	2.83	2.83
10	3.19	3.04	3.14	3.12	2.86	2.85	2.88	2.85
0	3.19	3.07	3.16	3.13	2.86	2.88	2.9	2.86

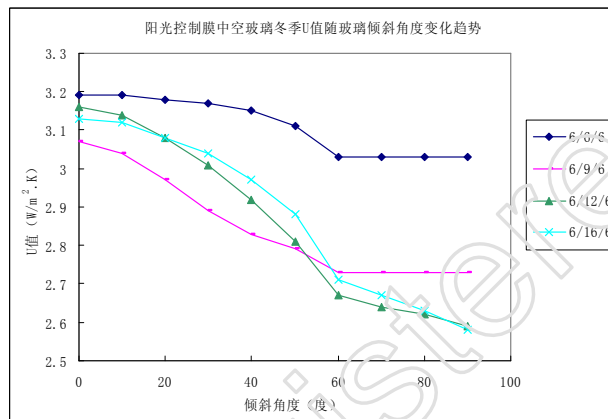


图4 阳光控制膜中空玻璃冬季U值随倾斜角度变化趋势图

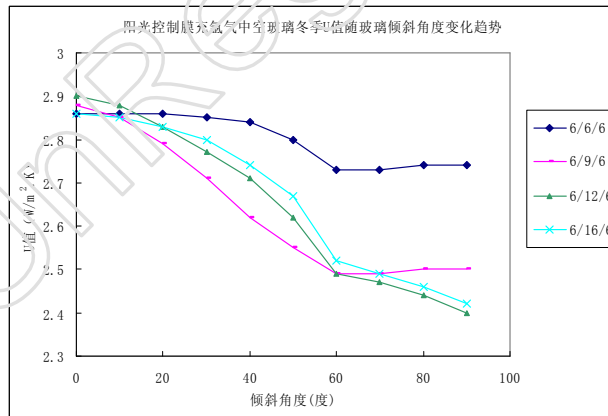


图5 阳光控制膜充氩气中空玻璃冬季U值随倾斜角度变化趋势图

阳光控制膜中空玻璃冬季U值，6mm间隔框水平使用比垂直使用只增加5.28%；9mm间隔框增加幅度为12.45%；12mm和16mm间隔框增加幅度较大，达到22%左右，变化趋势与双白中空玻璃相同，除6mm间隔框中空玻璃以外，变化幅度更大。因此在寒冷地区选择水平或倾斜（0-50度）使用阳光控制膜中空玻璃时，9mm间隔框中空玻璃是最佳选择。从图4中我们可以看出，在倾斜轻微（60-90度）时，除16mm以外，间隔框越大，保温性能越好，12mm间隔框中空玻璃是最佳选择。

从图4、5中我们可以看出，充入氩气后，中空玻璃U值随倾斜角度变化趋势，与不充氩气一样，12、16mm间隔框的中空玻璃，倾斜较轻时（60-90度），U值随倾斜角度变化非常明显，在水平使用时，

各种间隔的中空玻璃U值基本一样。因此在寒冷地区选择水平使用充气阳光控制膜中空玻璃时，6mm间隔框中空玻璃是最经济，也是最佳选择。在倾斜10-60度时，9mm间隔框中空玻璃是最佳选择。

在寒冷地区水平使用阳光控制膜中空玻璃时，充气最佳性能中空玻璃（6/6/6mm）比不充气最佳性能中空玻璃（6/9/6mm），不但成本低，保温性能还可提高6.84%。

表5 阳光控制膜中空玻璃在不同倾斜角度下的夏季U值

倾斜角度(度)	6/6/6 U值 (W/m ² .K)	6/9/6 U值 (W/m ² .K)	6/12/6 U值 (W/m ² .K)	6/16/6 U值 (W/m ² .K)	6/6/6充气U值 (W/m ² .K)	6/9/6充气U值 (W/m ² .K)	6/12/6充气U值 (W/m ² .K)	6/16/6充气U值 (W/m ² .K)
90	3.1	2.86	2.72	2.6	2.87	2.68	2.57	2.48
80	3.1	2.86	2.72	2.6	2.87	2.68	2.56	2.48
70	3.09	2.85	2.72	2.6	2.86	2.67	2.56	2.47
60	3.09	2.85	2.71	2.6	2.86	2.67	2.56	2.47
50	3.08	2.84	2.7	2.59	2.85	2.66	2.55	2.46
40	3.13	2.88	2.74	2.61	2.89	2.69	2.58	2.84
30	3.15	2.9	2.75	2.63	2.91	2.71	2.59	2.5
20	3.16	2.91	2.76	2.64	2.92	2.71	2.6	2.5
10	3.17	2.92	2.77	2.64	2.93	2.72	2.61	2.52
0	3.17	2.92	2.77	2.64	2.93	2.72	2.61	2.52

阳光控制膜中空玻璃夏季U值，水平使用比垂直使用增加不多，只有约2%，玻璃间隔越厚，隔热效果越好；充入氩气只能降低6%左右的U值，也是玻璃间隔越厚，隔热效果越好。因此在炎热地区选择水平使用阳光控制膜中空玻璃时，不论是否充入氩气，16mm间隔框中空玻璃是最佳选择，同时应考虑玻璃生产和安装成本。选择璃遮阳系数低的品种，也是非常重要的。

2.4 低辐射膜中空玻璃在不同倾斜角度下的U值

低辐射膜在中空玻璃的第2面和第3面U值相同，这里以第2面为例。

表6 低辐射膜中空玻璃在不同倾斜角度下的冬季U值

倾斜角度(度)	6/6/6 U值 (W/m ² .K)	6/9/6 U值 (W/m ² .K)	6/12/6 U值 (W/m ² .K)	6/16/6 U值 (W/m ² .K)	6/6/6充气U值 (W/m ² .K)	6/9/6充气U值 (W/m ² .K)	6/12/6充气U值 (W/m ² .K)	6/16/6充气U值 (W/m ² .K)
90	2.42	1.95	1.75	1.79	1.96	1.57	1.45	1.51
80	2.42	1.95	1.82	1.86	1.96	1.58	1.53	1.57
70	2.41	1.95	1.89	1.94	1.95	1.59	1.59	1.63
60	2.41	1.95	1.95	2	1.95	1.6	1.66	1.68
50	2.46	1.96	2.09	2.19	1.98	1.64	1.77	1.84
40	2.49	2.06	2.22	2.29	2	1.76	1.88	1.92
30	2.5	2.19	2.33	2.37	2.01	1.89	1.98	1.98
20	2.5	2.32	2.42	2.42	2.01	2.01	2.06	2.02
10	2.51	2.43	2.49	2.46	2.01	2.11	2.11	2.05
0	2.51	2.48	2.53	2.48	2.01	2.15	2.14	2.06

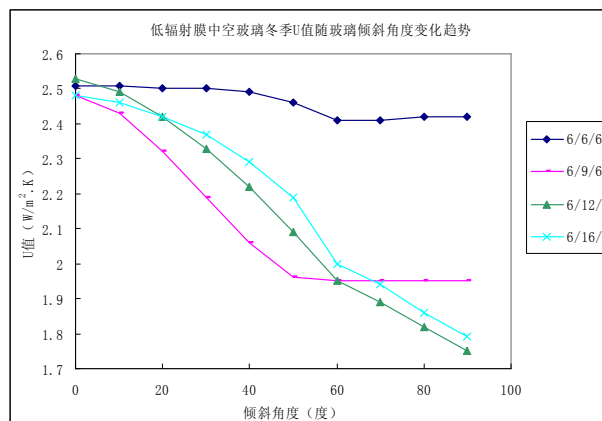


图6 低辐射膜中空玻璃冬季U值随倾斜角度变化趋势图

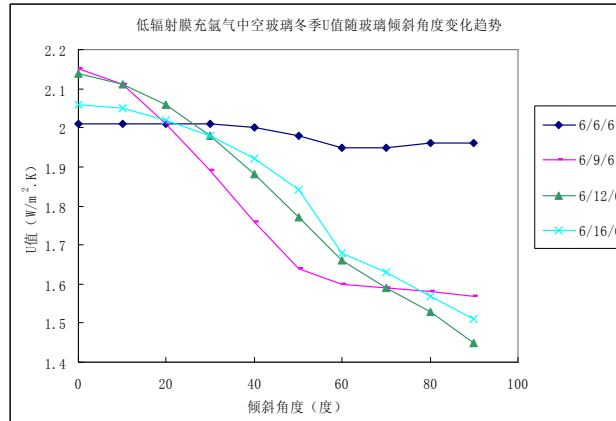


图7 低辐射膜充氩气中空玻璃冬季U值随倾斜角度变化趋势图

低辐射膜中空玻璃冬季U值，6mm间隔框水平使用比垂直使用只增加3.72%；9mm间隔框增加幅度为27.18%；12mm和16mm间隔框增加幅度较大，达到40%左右，水平使用时各种间隔框中空玻璃冬季U值基本一样，因此在寒冷地区选择水平使用低辐射膜中空玻璃时，9mm间隔框中空玻璃性能最好，6mm间隔框中空玻璃性价比更高，应是最佳选择。倾斜0-50度使用低辐射膜中空玻璃时，9mm间隔框中空玻璃是最佳选择。从图6中我们可以看出，在倾斜轻微（60-90度）使用低辐射膜中空玻璃时，除16mm以外，间隔框越大，保温性能越好，12mm间隔框中空玻璃是最佳选择。

从图6、7中我们可以看出，充入氩气后，各种间隔的中空玻璃，U值变化趋势与不充氩气一样；9、12、16mm间隔的中空玻璃，U值随倾斜角度变化非常明显。在水平使用时，6mm间隔框中空玻璃U值反而最小。因此在寒冷地区选择水平或小角度（0-20度）使用低辐射膜充氩气中空玻璃时，6mm间隔框中空玻璃是最经济，也是最佳选择。

在寒冷地区水平使用低辐射膜中空玻璃时，充氩气最佳性能中空玻璃（6/6/6mm）比不充氩气最佳性能中空玻璃（6/9/6mm），不但成本更低，而且保温性能提高18.95%，更具竞争力。

表7 低辐射膜中空玻璃在不同倾斜角度下的夏季U值

倾斜角度 (度)	6/6/6 U值 (W/m².K)	6/9/6 U值 (W/m².K)	6/12/6 U值 (W/m².K)	6/16/6 U值 (W/m².K)	6/6/6充氩气U值 (W/m².K)	6/9/6充氩气U值 (W/m².K)	6/12/6充氩气U值 (W/m².K)	6/16/6充氩气U值 (W/m².K)
90	2.44	2	1.72	1.48	2.02	1.63	1.4	1.21
80	2.44	2	1.72	1.48	2.02	1.63	1.4	1.21
70	2.44	2	1.73	1.48	2.02	1.63	1.4	1.21
60	2.44	2	1.72	1.48	2.02	1.63	1.4	1.21
50	2.43	2	1.72	1.47	2.01	1.63	1.39	1.2
40	2.45	2.01	1.72	1.48	2.02	1.63	1.4	1.23
30	2.47	2.02	1.73	1.5	2.04	1.64	1.4	1.3
20	2.47	2.02	1.73	1.56	2.04	1.64	1.4	1.38
10	2.48	2.03	1.74	1.62	2.04	1.65	1.41	1.44
0	2.48	2.03	1.74	1.64	2.04	1.65	1.41	1.47

6、9、12mm间隔框低辐射膜中空玻璃夏季U值，水平使用比垂直使用增加不多，只有1.5%左右，但16mm间隔框玻璃增幅却非常大，达到10.81%，由于16mm间隔框中空玻璃水平或小角度使用，其U值仍然最小，所以是炎热地区的最佳选择。间隔框中充入氩气，6、9、12mm间隔框中空玻璃夏季U值，水平使用比垂直使用只增加1%左右，16mm间隔框玻璃增幅仍然非常大，达到21.49%，12mm间隔框中空玻璃水平或小角度使用，其U值最小，是炎热地区的最佳选择。

在炎热地区水平或小角度使用低辐射膜中空玻璃时，充氩气最佳性能中空玻璃（6/12/6mm）比不充氩气最佳性能中空玻璃（6/16/6mm），不但成本低，而且保温性能提高14.02%。

2.5 三白双中空玻璃在不同倾斜角度下的冬季U值

表8 三白双中空玻璃在不同倾斜角度下的冬季U值

倾斜角度 (度)	6/6/6/6/6 U值 (W/m ² .K)	6/9/6/9/6 U值 (W/m ² .K)	6/12/6/12/6 U值 (W/m ² .K)	6/16/6/16/6 U值 (W/m ² .K)
90	2.15	1.9	1.76	1.7
80	2.15	1.9	1.77	1.74
70	2.14	1.89	1.77	1.77
60	2.14	1.89	1.77	1.79
50	2.18	1.92	1.8	1.87
40	2.2	1.93	1.81	1.93
30	2.21	1.94	1.94	1.99
20	2.21	1.94	2.01	2.03
10	2.22	1.95	2.06	2.07
0	2.22	1.95	2.09	2.08

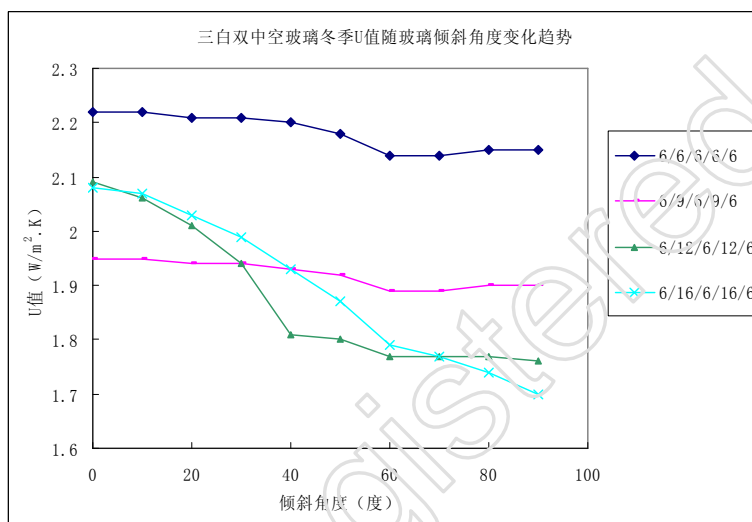


图8 三白双中空玻璃冬季U值随倾斜角度变化趋势图

三白双中空玻璃冬季U值，6mm、9mm间隔框水平使用和垂直使用变化较小，只增加3%左右；12mm和16mm间隔框增加幅度较大，达到20%左右，因此在寒冷地区选择水平或小角度倾斜（0-30度）使用时，9mm间隔框三白双中空玻璃是最佳选择。从图8中我们可以看出，在倾斜较轻（70-90度）使用中空玻璃时，间隔框越大，保温性能越好，16mm间隔框中空玻璃是最佳选择。

2.6 低辐射膜双中空玻璃在不同倾斜角度下的冬季U值

低辐射膜在中空玻璃的第2面和第3面、第4面和第5面U值相同，这里以第2面和第5面为例。夏季U值随间隔框厚度增加而减小，随安装角度变化较小，这里不再罗列。

表9 低辐射膜在第2面双中空玻璃在不同倾斜角度下的冬季U值

倾斜角度 (度)	6/6/6/6/6 U值 (W/m ² .K)	6/9/6/9/6 U值 (W/m ² .K)	6/12/6/12/6 U值 (W/m ² .K)	6/16/6/16/6 U值 (W/m ² .K)
90	1.8	1.46	1.29	1.27
80	1.8	1.46	1.33	1.31
70	1.8	1.46	1.35	1.36
60	1.8	1.46	1.37	1.4
50	1.82	1.47	1.43	1.49
40	1.83	1.48	1.5	1.56
30	1.84	1.52	1.57	1.62
20	1.84	1.57	1.64	1.67
10	1.85	1.62	1.7	1.71
0	1.85	1.64	1.73	1.72

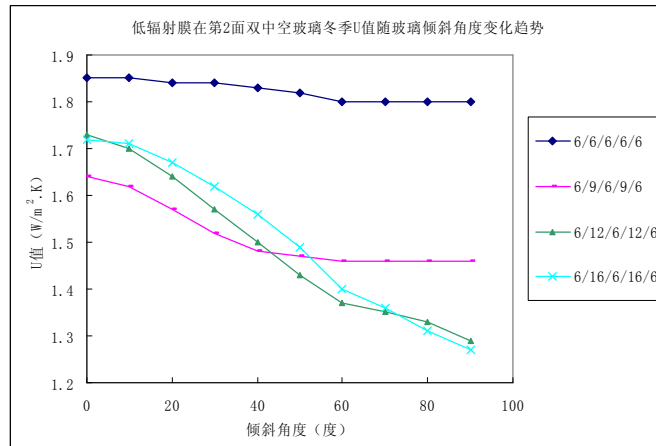


图9 低辐射膜在第2面的双中空玻璃冬季U值随倾斜角度变化趋势图

低辐射膜在第2面的双中空玻璃冬季U值，6mm间隔框水平使用和垂直使用变化较小，只增加2.78%；9mm间隔框变化较大，增加12.33%，12mm和16mm间隔框增加幅度很大，达到35%左右，在寒冷地区选择水平或小角度倾斜（0-40度）使用低辐射膜在第二面的双中空玻璃时，9mm间隔框是最佳选择。从图9中我们可以看出，在玻璃倾斜50-90度时，12mm间隔框中空玻璃是最经济，也是最佳选择。

表10 低辐射膜在第5面双中空玻璃在不同倾斜角度下的冬季U值

倾斜角度 (度)	6/6/6/6/6 U值 (W/m²·K)	6/9/6/9/6 U值 (W/m²·K)	6/12/6/12/6 U值 (W/m²·K)	6/16/6/16/6 U值 (W/m²·K)
90	1.78	1.44	1.26	1.21
80	1.78	1.44	1.28	1.26
70	1.77	1.44	1.29	1.31
60	1.77	1.44	1.31	1.35
50	1.8	1.44	1.35	1.44
40	1.81	1.45	1.44	1.51
30	1.82	1.46	1.53	1.58
20	1.82	1.46	1.61	1.63
10	1.82	1.49	1.68	1.67
0	1.82	1.5	1.71	1.69

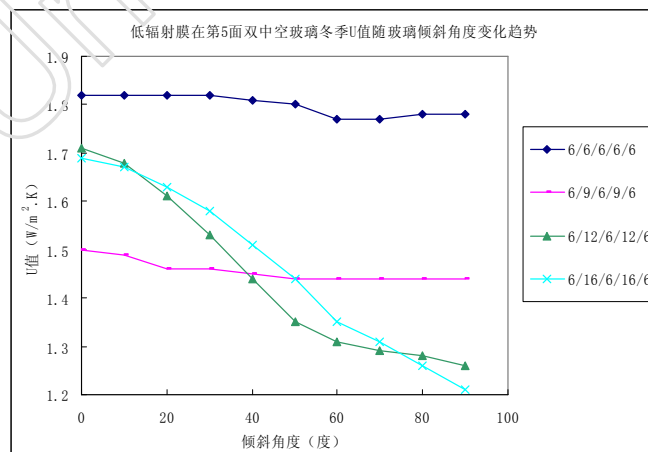


图10 低辐射膜在第5面双中空玻璃冬季U值随倾斜角度变化趋势图

低辐射膜在第5面的双中空玻璃冬季U值，6mm间隔框水平使用比垂直使用只增加2.25%；9mm间隔框增加4.17%，12mm和16mm间隔框增加幅度很大，达到35.71%和39.67%，在寒冷地区选择水平或小角

度倾斜（0-35度）使用时，9mm间隔框是最佳选择。从图10中我们可以看出，在倾斜40-90度使用时，12mm间隔框中空玻璃是最经济，也是最佳选择。

对比低辐射膜在第2面和在第5面的双中空玻璃冬季U值，我们可以看出，后者在各种状态下使用，都比前者要低，保温效果要好。

3 中空玻璃U值随配置和安装倾斜角度变化的原理

3.1 为什么中空玻璃冬季U值随安装倾斜角度变化明显

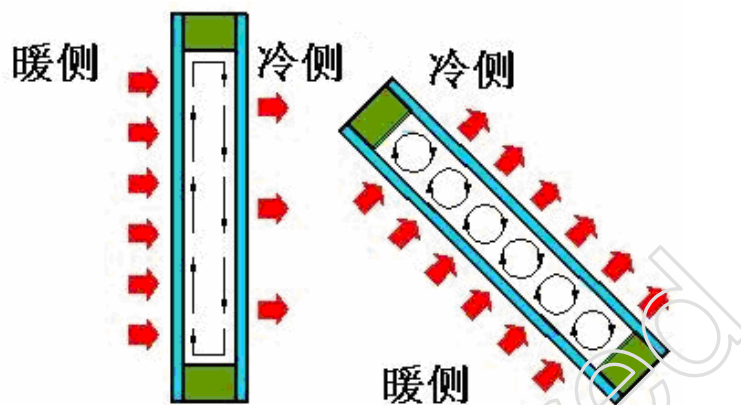


图11 中空玻璃间隔层内气体对流运动示意图

中空玻璃间隔层内的对流运动，如图11所示，在暖侧上升，在冷侧下降，产生对流传热，同时两片玻璃之间的传导传热也在进行。冬季中空玻璃倾斜使用时，上表面温度低，玻璃间隔层内的气体分子，在重力方向的对流运动，会加速两片玻璃之间的热量传导。单腔中空玻璃通常都采取垂直方向安装，在此状态下对流运动路程最长，对流传热效率最低。当玻璃倾斜或水平状态安装时，中空玻璃冬季U值随安装倾斜角度明显发生变化。

3.2 为什么中空玻璃夏季U值随安装倾斜角度变化不明显

因为夏季U值考虑的是室外侧温度高于室内侧，当玻璃倾斜或水平状态使用时，中空玻璃间隔层内的气体分子，在重力方向与对流运动方向正好相反，不会大幅增加两片玻璃间的热传导，因此中空玻璃夏季U值随安装倾斜角度变化不明显。

3.3 为什么低辐射中空玻璃冬季U值随安装倾斜角度变化明显

中空玻璃中部的热量传递，有辐射、对流和热传导三种形式。与白玻相比，低辐射镀膜玻璃的膜面辐射率很低，辐射传热在玻璃两面总的热量传递过程中，所占的权重较小，热传导传热基本不变，导致对流传热的权重上升。中空玻璃倾斜时，主要是增加了对流传热，因此低辐射中空玻璃冬季U值随安装倾斜角度变化更加明显。

3.4 为什么多种中空玻璃水平时间隔框不同但冬季U值基本一样

从图3、5、6中我们可以看出，充氩气的双白中空玻璃、充氩气的阳光控制膜中空玻璃和不充氩气的低辐射膜中空玻璃，各种间隔框的玻璃冬季U值在水平安装时基本一样。我们认为这是一种巧合，从图5可以看出，水平安装时，其它间隔框的中空玻璃冬季U值，已经开始超过6mm间隔框玻璃，图7就非常明显了。

3.5 为什么中空玻璃冬季U值在间隔框厚度薄时随倾斜角度变化小，间隔框厚时变化大

我们认为造成这种现象的原因，是因为玻璃在垂直安装而间隔厚度较小时，中空玻璃内部对流传热，在总的热量传递过程中，权重较小，辐射和传导传热占的比重较大，致使玻璃倾斜或水平安装时的对流传热虽然增加，但总的热量传递增幅并不明显，所以总的热量传递比垂直安装增加很少，U值变化较小；当玻璃间隔厚度较大时，传导传热在总的热量传递过程中权重变小，辐射传热不变，对流传热权重变大，致使玻璃玻璃倾斜或水平安装时，对流传热的增加使总的热量传递明显增加，造成冬季U值随倾斜角度变化很大。

3.6 倾斜安装双中空玻璃为什么比单腔中空玻璃冬季U值低很多

在3.1的论述中，我们已经对单腔中空玻璃倾斜安装时，冬季U值变大的原理有所了解。在3.5的论述中，我们对间隔框厚、薄造成中空玻璃倾斜安装时，冬季U值变化的原理也有所了解。将中空玻璃的单腔分割成双腔，这样就能有效地降低对流造成的热量传递；同时玻璃的辐射率为0.84，也可以适当减少辐射传热；玻璃的导热系数为0.76W/m.K，虽然是空气导热系数0.024 W/m.K的32倍，但中间那一片玻璃，也可以少量降低传导传热。以上三个方面，造成倾斜安装双中空玻璃比单腔中空玻璃冬季U值低很多。

3.7 为什么间隔框薄，水平使用时双中空玻璃比普通中空优势明显，间隔框厚就不明显呢

6mm间隔框双中空玻璃，可以看作用12mm间隔框普通中空玻璃中间加一片玻璃，9mm间隔框双中空玻璃，可以近似看作用16mm间隔框普通中空玻璃中间加一片玻璃，分析表2与表8玻璃垂直安装时的冬季U值，6/12/6mm双白中空玻璃是2.69W/m².K，比6/6/6/6/6mm三白双中空玻璃的2.15 W/m².K高25.12%，冬季水平安装U值，6/12/6mm双白中空玻璃是3.25 W/m².K，比6/6/6/6/6mm三白双中空玻璃的2.22 W/m².K高46.40%，说明双中空比单腔中空玻璃水平使用优势明显；6/16/6mm双白中空玻璃是2.7 W/m².K，比6/9/6/9/6mm三白双中空玻璃的1.9 W/m².K高42.11%，冬季水平安装U值，6/16/6mm双白中空玻璃是3.23 W/m².K，比6/9/6/9/6mm三白双中空玻璃的1.95 W/m².K高65.64%，也证明双中空比单腔中空玻璃水平使用优势明显，经过计算，低辐射膜中空玻璃优势也同样明显。这些足以证明3.1中的理论非常正确。12mm、16mm间隔框双中空玻璃，对应的是24mm、32mm单腔中空玻璃，在此没有比对，经过计算，趋势同上。我们在讨论间隔框厚度时，应以总厚度为依据。

4 结束语

我们选择水平或者小倾斜角度使用双白中空玻璃、阳光控制膜中空玻璃、低辐射膜中空玻璃、三白双中空玻璃和低辐射膜双中空玻璃时，有以下建议：

在寒冷地区，9mm间隔框中空玻璃的冬季U值最小，是最佳选择；选择充氩气玻璃时，6mm间隔框中空玻璃的冬季U值最小，是最佳选择。

在冬寒夏暖地区，兼顾玻璃夏季隔热功能和性价比，各种配置均选用9mm间隔框中空玻璃。

在热带地区，主要考虑玻璃夏季隔热功能，除了充氩气低辐射膜中空玻璃选择6/12/6配置外，其它配置均选用16mm间隔框中空玻璃。同时还要选择遮阳系数低的品种。

双中空玻璃，在寒冷地区和冬寒夏暖地区，低辐射膜在第2面的双中空玻璃，垂直、水平或者小倾斜角度使用时，是保温、隔热性能最好的玻璃；由于辐射膜在第5面的双中空玻璃，遮阳系数低比在第2面的要低，因此在热带地区垂直、水平或者小倾斜角度使用时，是保温、隔热性能最好的玻璃。为了降低玻璃总厚度和重量，可以将双中空中间那一片玻璃，替换成0.1mm的塑料薄膜，而不降低保温、隔热性能。