

相关研究

《布局医疗器械国产创新新时代——永赢医疗器械ETF投资价值分析》
2021.04.07

《“碳”为观止，百炼成钢——“碳中和”时代下国泰钢铁ETF投资价值分析》
2021.04.08

《选股因子系列研究（七十三）——使用基本面逻辑改进ROE因子》2021.03.17

分析师:冯佳睿

Tel:(021)23219732

Email:fengjr@htsec.com

证书:S0850512080006

分析师:张振岗

Tel:(021)23154386

Email:zzg11641@htsec.com

证书:S0850519050001

债券量化系列之四——企业债组合优化再探索

投资要点:

- **债券风险因子表现。**1个月动量的多空收益最高，超额利差的多空收益最低。但是，6个风险因子的多空收益都较为平稳，多空净值均没有较大的回撤。
- **债券风险因子特征。**高动量组合的平均持仓规模显著小于低动量组合，并且高动量组合中的高等级债券的比例也显著低于低动量组合，但是动量因子各个组合的久期和期限并没有明显的差异。收益类因子和动量类因子一致，高收益债券组合的平均持仓规模显著小于低收益债券组合，但是高收益债券组合的久期和期限显著高于低收益债券组合。从债券评级的分布来看，高/低收益债券组合的评级差异比高/低动量组合更大。
- **优化组合特征。**用1个月动量因子分别搭配估价收益率、信用利差和超额利差，构建3个优化组合，均可以跑赢中债企业债总财富指数。优化组合整体上呈现低规模的特点，平均期限和平均久期分别在3.5年和2年左右。从评级分布来看，优化组合的债券评级主要为AA+和AA级，两个评级合计均占到80%以上。
- **添加组合约束。**新的组合优化框架中，我们将持仓的每只债券的评级约束在AA+及以上，规模在10亿元以上，并将组合的久期约束到1以下。添加了约束后的优化组合虽然收益有所降低，但是仍然可以战胜基准，并且波动和回撤更低，夏普比率在4以上。
- **最大化风险因子暴露。**我们将目标函数中的换手率替代为债券的风险因子暴露，并将每期的组合换手率约束在0.2以内。新的优化组合收益会有一定的提升，但是也更容易选到违约债券。
- **风险提示。**数据挖掘是从历史先验数据获取经验模型的方法，存在模型失效可能。

目 录

1. 债券风险因子的特征.....	5
1.1 因子表现.....	5
1.2 因子特征.....	6
2. 优化组合对比	9
3. 优化框架扩展	11
3.1 添加组合约束.....	11
3.2 优化目标：风险因子暴露.....	12
3.3 复合风险因子系数的敏感性分析.....	14
4. 总结	15
5. 风险提示	15

图目录

图 1	债券风险因子的多空净值.....	5
图 2	债券优化组合的净值对比.....	9
图 3	添加约束后的债券优化组合的净值对比.....	11
图 4	改变优化目标后的债券优化组合的净值对比.....	13
图 5	复合风险因子系数的敏感性分析（累计净值）.....	14

表目录

表 1	债券风险因子的多空收益.....	5
表 2	债券风险因子的相关系数（2015-2020）.....	6
表 3	债券风险因子的单因子截面回归（2015-2020）.....	6
表 4	债券风险因子的多因子截面回归（2015-2020）.....	6
表 5	1 个月动量分组后的债券组合特征（2015-2020）.....	7
表 6	3 个月动量分组后的债券组合特征（2015-2020）.....	7
表 7	6 个月动量分组后的债券组合特征（2015-2020）.....	7
表 8	估价收益率分组后的债券组合特征（2015-2020）.....	8
表 9	信用利差分组后的债券组合特征（2015-2020）.....	8
表 10	超额利差分组后的债券组合特征（2015-2020）.....	8
表 11	组合优化参数.....	9
表 12	债券优化组合的风险收益特征（2015-2020）.....	10
表 13	债券优化组合的年度收益对比.....	10
表 14	债券优化组合的其他特征（2015-2020）.....	10
表 15	添加约束后的债券优化组合的风险收益特征（2015-2020）.....	12
表 16	添加约束后的债券优化组合的年度收益对比.....	12
表 17	添加约束后的债券优化组合的其他特征（2015-2020）.....	12
表 18	改变优化目标后的债券优化组合的风险收益特征（2015-2020）.....	13
表 19	改变优化目标后的债券组合的年度收益对比.....	14
表 20	改变优化目标后的债券优化组合的其他特征（2015-2020）.....	14
表 21	复合风险因子系数的敏感性分析（风险收益特征，2015-2020）.....	15
表 22	复合风险因子系数的敏感性分析（其他特征，2015-2020）.....	15

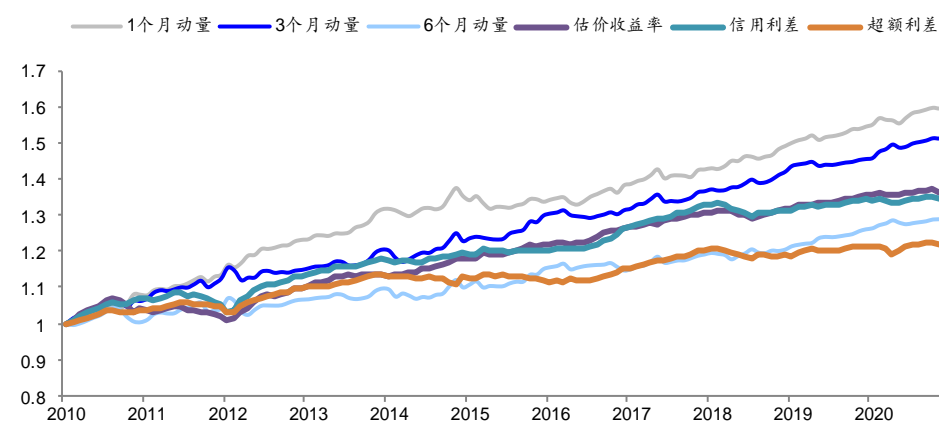
我们在债券量化系列的第二篇报告《债券量化系列之二——债券违约概率模型及多因子组合优化》中，采用和构建股票多因子组合类似的组合优化方法，在尽可能降低债券组合违约风险的前提下，进一步控制单只债券的权重，并在风险因子上暴露一定的敞口，构建了企业债的优化组合。在本篇报告中，我们将测试更多的风险因子，并且探索更多的组合优化形式。

1. 债券风险因子的特征

1.1 因子表现

本节检验 1 个月动量、3 个月动量、6 个月动量、估价收益率、信用利差和超额利差，共计 6 个风险因子的表现。如下图所示，1 个月动量的多空收益最高，超额利差的多空收益最低，但是 6 个风险因子的多空收益都较为平稳，多空净值均没有较大的回撤。

图1 债券风险因子的多空净值



资料来源：Wind，海通证券研究所

如下表所示，1 个月动量在 2015 年的多空收益为负，估价收益率在 2011 年的多空收益为负，信用利差在 2011 年、2018 年和 2020 年的多空收益为负，超额利差在 2015 年和 2018 年的多空收益为负。在其他年份上，这些因子的多空收益都是正值。而 3 个月动量和 6 个月动量每年的多空收益都是正值。

表 1 债券风险因子的多空收益

	1 个月动量	3 个月动量	6 个月动量	估价收益率	信用利差	超额利差
2010	7.90%	6.16%	0.55%	3.93%	6.86%	3.49%
2011	5.18%	5.85%	3.69%	-1.63%	-1.34%	1.10%
2012	8.53%	2.15%	2.38%	7.29%	7.22%	4.94%
2013	6.90%	4.92%	2.86%	3.55%	4.41%	3.53%
2014	2.77%	1.95%	0.27%	3.64%	1.18%	-0.82%
2015	-1.15%	5.78%	4.58%	3.34%	0.60%	-0.88%
2016	3.43%	1.14%	-0.38%	3.58%	4.86%	3.00%
2017	3.17%	4.01%	3.86%	3.49%	5.35%	4.52%
2018	4.56%	3.95%	1.12%	0.99%	-1.02%	-1.24%
2019	3.61%	2.49%	4.60%	2.82%	2.29%	1.99%
2020	3.68%	4.39%	2.54%	0.44%	-0.33%	0.33%
区间年化	4.38%	3.88%	2.36%	2.83%	2.69%	1.79%

资料来源：Wind，海通证券研究所

从因子的相关性来看，3 个动量因子的相关系数在 0.45 到 0.75 之间，估价收益率、信用利差和超额利差 3 个收益因子的相关系数在 0.33 到 0.70 之间，而动量因子与收益

因子的相关系数均在 0.2 以下。

表 2 债券风险因子的相关系数（2015-2020）

	1个月动量	3个月动量	6个月动量	估价收益率	信用利差益	超额利差
1个月动量	1	0.62	0.45	0.00	0.05	0.09
3个月动量	0.62	1	0.75	-0.02	0.03	0.12
6个月动量	0.45	0.75	1	-0.04	0.04	0.13
估价收益率	0.00	-0.02	-0.04	1	0.70	0.33
信用利差益	0.05	0.03	0.04	0.70	1	0.63
超额利差	0.09	0.12	0.13	0.33	0.63	1

资料来源：Wind，海通证券研究所

下表展示了单因子横截面回归的因子风险溢价。6 个因子的风险溢价在 5bps 到 12bps 之间，T 值都在 2 以上。其中，1 个月动量因子的风险溢价最高，为 12 bps，T 值也达到 5.93。

表 3 债券风险因子的单因子截面回归（2015-2020）

	1个月动量	3个月动量	6个月动量	估价收益率	信用利差益	超额利差
参数估价	0.12%	0.09%	0.05%	0.09%	0.05%	0.05%
T-统计量	5.93	4.40	2.49	2.84	3.66	3.96

资料来源：Wind，海通证券研究所

下表给出了多因子横截面回归的结果。单个动量因子搭配单个收益因子的形式，能使这两个因子都有比较显著的风险溢价。如，1 个月动量搭配估价收益率，两个因子的因子溢价分别为 10bps 和 8bps，T 值分别为 5.18 和 3.62。

表 4 债券风险因子的多因子截面回归（2015-2020）

	1个月动量	3个月动量	6个月动量	估价收益率	信用利差益	超额利差
1	0.09%	0.04%				
	3.45	1.42				
2	0.09%		0.02%			
	4.95		0.97			
3	0.10%			0.08%		
	5.18			3.62		
4	0.10%				0.04%	
	5.26				3.31	
5	0.11%					0.04%
	5.64					3.59
6	0.07%	0.02%	0.05%	0.08%	0.05%	0.00%
	3.26	0.63	0.85	0.39	0.85	0.04

资料来源：Wind，海通证券研究所

1.2 因子特征

本节将所有债券分别按 6 个风险因子从小到大分成 10 个组合，对应 Q1-Q10，即 Q10 的因子值最大。按月调仓，来观察每个债券因子组合的特征。

如表 5-7 所示，动量因子在估价收益率特征上并没有显著的单调性，但是高动量债券组合的信用利差和超额利差略高于低动量债券组合。从债券规模来看，高动量组合的平均持仓规模显著小于低动量组合。从久期和期限来看，动量因子各个组合没有明显的差异。从债券评级的分布来看，高动量组合的高评级债券持仓比例会显著低于低动量组合。如，在 1 个月动量因子的 Q1 组和 Q10 组中，AAA 级债券持仓比例分别为 59.12% 和 33.28%，而 AA 级债券持仓比例分别为 19.49% 和 35.06%。

表 5 1 个月动量分组后的债券组合特征 (2015-2020)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
3 个月动量	-0.92	-0.47	-0.33	-0.19	-0.08	0.05	0.19	0.34	0.51	0.86
6 个月动量	-0.76	-0.38	-0.25	-0.15	-0.06	0.04	0.16	0.28	0.43	0.66
估价收益率	6.00%	4.91%	5.06%	5.22%	5.33%	5.36%	5.46%	5.57%	5.76%	6.78%
信用利差	2.38%	1.95%	2.13%	2.25%	2.34%	2.37%	2.46%	2.54%	2.70%	3.34%
超额利差	0.63%	0.44%	0.51%	0.57%	0.60%	0.63%	0.68%	0.77%	0.93%	1.15%
规模 (亿元)	21.48	16.98	14.67	14.76	14.64	14.89	14.15	13.55	13.34	13.91
久期 (年)	2.59	1.83	1.67	1.74	1.84	2.03	2.10	2.10	2.34	2.96
期限 (年)	3.36	2.27	2.13	2.21	2.39	2.58	2.63	2.78	3.06	3.90
AAA	59.12%	53.98%	48.30%	45.40%	42.46%	40.01%	37.74%	36.60%	34.05%	33.28%
AA+	21.17%	24.93%	26.66%	26.40%	28.12%	27.94%	28.36%	28.21%	27.45%	26.36%
AA	19.49%	21.47%	24.47%	26.31%	27.36%	29.68%	31.36%	32.50%	35.27%	35.06%
AA-及以下评级	4.23%	3.28%	4.45%	3.92%	4.23%	4.17%	4.29%	4.34%	5.31%	7.48%

资料来源: Wind, 海通证券研究所

表 6 3 个月动量分组后的债券组合特征 (2015-2020)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
1 个月动量	-0.24	-0.15	-0.13	-0.08	-0.05	-0.02	0.02	0.08	0.17	0.29
6 个月动量	-1.17	-0.52	-0.35	-0.20	-0.09	0.05	0.19	0.39	0.60	1.05
估价收益率	6.57%	4.86%	5.01%	5.13%	5.21%	5.30%	5.44%	5.58%	5.78%	6.75%
信用利差	2.69%	1.93%	2.07%	2.17%	2.23%	2.30%	2.41%	2.56%	2.72%	3.37%
超额利差	0.75%	0.43%	0.47%	0.51%	0.54%	0.58%	0.68%	0.80%	0.95%	1.21%
规模 (亿元)	22.45	16.89	16.01	15.79	15.35	14.76	14.59	13.23	12.80	13.62
久期 (年)	2.58	1.74	1.75	1.75	1.94	2.07	2.03	2.12	2.37	2.97
期限 (年)	3.25	2.21	2.18	2.27	2.36	2.54	2.63	2.76	3.16	4.14
AAA	58.45%	53.87%	51.31%	47.73%	45.15%	41.77%	38.23%	34.54%	32.42%	30.08%
AA+	19.99%	25.95%	26.95%	27.16%	27.87%	28.84%	29.24%	28.87%	28.14%	25.63%
AA	21.31%	22.05%	22.58%	23.96%	25.37%	27.58%	30.23%	33.71%	36.49%	39.42%
AA-及以下评级	5.11%	3.45%	4.04%	4.19%	3.20%	3.58%	4.11%	4.62%	5.24%	8.06%

资料来源: Wind, 海通证券研究所

表 7 6 个月动量分组后的债券组合特征 (2015-2020)

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
1 个月动量	-0.19	-0.11	-0.08	-0.06	-0.06	-0.01	0.00	0.07	0.13	0.19
3 个月动量	-0.82	-0.35	-0.23	-0.14	-0.07	0.02	0.10	0.25	0.39	0.68
估价收益率	7.05%	4.97%	4.97%	5.11%	5.18%	5.28%	5.40%	5.51%	5.72%	6.66%
信用利差	2.95%	1.99%	2.01%	2.10%	2.17%	2.26%	2.38%	2.49%	2.69%	3.37%
超额利差	0.81%	0.48%	0.45%	0.48%	0.52%	0.55%	0.65%	0.75%	0.94%	1.20%
规模 (亿元)	22.86	18.13	18.04	16.52	15.77	15.04	14.68	13.67	12.95	12.88
久期 (年)	2.54	1.86	1.82	1.92	1.97	2.06	2.18	2.25	2.34	2.91
期限 (年)	3.24	2.28	2.27	2.37	2.46	2.59	2.70	2.85	3.20	4.13
AAA	59.71%	56.36%	53.41%	48.65%	46.83%	40.85%	37.83%	34.31%	31.88%	29.24%
AA+	18.54%	25.07%	25.10%	27.65%	27.25%	29.50%	30.06%	29.79%	26.87%	25.76%
AA	20.00%	20.27%	20.76%	22.47%	24.98%	28.67%	30.30%	33.86%	38.48%	40.47%
AA-及以下评级	5.55%	2.62%	3.16%	3.18%	4.34%	3.54%	4.02%	4.34%	6.08%	8.17%

资料来源: Wind, 海通证券研究所

表 8-10 展示了估价收益率、信用利差和超额利差的组合特征。高收益债券组合在动量因子上的暴露显著高于低收益债券组合。从债券规模来看，收益类因子和动量类因子一致，高收益债券组合的平均持仓规模显著小于低收益债券组合，但是高收益债券组合的久期和期限显著高于低收益债券组合。从债券评级的分布来看，高/低收益债券组合的评级差异比高/低动量组合更大。如，在估价收益率因子的 Q1 组和 Q10 组中，AAA 级债券持仓比例分别为 92.35% 和 5.60%，而 AA 级债券持仓比例分别为 7.22% 和 26.26%。

表 8 估价收益率分组后的债券组合特征（2015-2020）

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
1 个月动量	-0.22	-0.18	-0.13	-0.06	-0.03	0.01	0.06	0.11	0.19	0.23
3 个月动量	-0.29	-0.22	-0.14	-0.06	-0.01	0.02	0.08	0.12	0.23	0.22
6 个月动量	-0.34	-0.25	-0.15	-0.07	0.00	0.04	0.08	0.14	0.27	0.21
信用利差	1.17%	1.34%	1.51%	1.68%	1.91%	2.17%	2.48%	2.90%	3.55%	5.62%
超额利差	-0.02%	0.09%	0.15%	0.22%	0.31%	0.47%	0.71%	1.07%	1.60%	2.60%
规模（亿元）	30.84	20.70	17.67	16.54	14.57	13.08	11.87	10.65	9.20	7.49
久期（年）	1.09	1.47	1.94	2.31	2.41	2.44	2.52	2.66	2.46	2.06
期限（年）	0.99	1.71	2.32	2.82	3.09	3.22	3.35	3.49	3.45	2.93
AAA	92.35%	80.83%	66.81%	54.19%	40.04%	31.37%	25.15%	20.46%	13.72%	5.60%
AA+	7.22%	17.63%	24.85%	29.48%	33.00%	33.46%	31.32%	29.84%	27.39%	26.26%
AA	2.15%	4.68%	10.59%	17.67%	27.85%	34.61%	42.07%	46.64%	53.04%	54.50%
AA-及以下评级	0.84%	0.29%	0.38%	0.41%	1.15%	1.28%	2.20%	4.36%	8.24%	15.38%

资料来源：Wind，海通证券研究所

表 9 信用利差分组后的债券组合特征（2015-2020）

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
1 个月动量	-0.22	-0.16	-0.12	-0.09	-0.02	0.03	0.07	0.12	0.15	0.21
3 个月动量	-0.20	-0.20	-0.15	-0.10	-0.01	0.06	0.09	0.14	0.20	0.20
6 个月动量	-0.25	-0.20	-0.15	-0.11	0.00	0.07	0.12	0.16	0.24	0.20
估价收益率	4.03%	4.23%	4.45%	4.67%	4.92%	5.18%	5.51%	5.94%	6.62%	9.84%
超额利差	-0.05%	0.10%	0.16%	0.24%	0.34%	0.51%	0.77%	1.15%	1.68%	2.68%
规模（亿元）	38.92	22.63	17.35	14.31	12.34	10.99	9.98	9.32	8.60	7.15
久期（年）	2.48	2.04	2.12	2.15	2.26	2.12	2.11	2.21	2.11	1.87
期限（年）	2.89	2.52	2.64	2.74	2.85	2.81	2.81	2.83	2.90	2.60
AAA	97.60%	83.20%	61.41%	46.50%	34.43%	27.14%	20.81%	16.89%	10.97%	5.23%
AA+	2.67%	16.90%	30.77%	33.69%	34.55%	33.43%	33.10%	31.59%	28.02%	26.06%
AA	0.68%	3.18%	12.06%	22.30%	33.98%	39.30%	44.93%	47.72%	54.36%	53.46%
AA-及以下评级	0.39%	0.20%	0.19%	0.29%	0.66%	0.93%	2.59%	4.64%	8.89%	17.08%

资料来源：Wind，海通证券研究所

表 10 超额利差分组后的债券组合特征（2015-2020）

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10
1 个月动量	-0.09	-0.08	-0.06	-0.07	-0.03	-0.02	0.03	0.10	0.16	0.21
3 个月动量	-0.07	-0.08	-0.08	-0.08	-0.04	-0.03	0.04	0.11	0.19	0.20
6 个月动量	-0.07	-0.11	-0.10	-0.11	-0.06	-0.04	0.04	0.13	0.22	0.19
估价收益率	5.05%	4.61%	4.59%	4.73%	4.78%	4.95%	5.32%	5.83%	6.47%	8.58%
信用利差	1.61%	1.55%	1.49%	1.60%	1.72%	1.90%	2.27%	2.74%	3.36%	5.15%
规模（亿元）	30.58	24.92	21.78	16.56	16.39	15.43	13.05	12.06	10.62	9.00
久期（年）	3.41	2.67	2.96	3.06	2.55	2.64	2.52	2.65	2.50	2.07

期限(年)	4.23	3.39	3.65	3.88	3.28	3.26	3.28	3.55	3.42	2.85
AAA	42.92%	44.39%	62.84%	58.44%	56.63%	52.78%	38.00%	29.74%	22.58%	14.51%
AA+	21.88%	29.24%	20.60%	22.28%	22.31%	23.87%	31.39%	30.66%	31.07%	35.81%
AA	32.23%	24.68%	16.34%	21.22%	22.89%	23.59%	28.65%	36.70%	42.98%	44.22%
AA-及以下评级	4.87%	2.77%	1.58%	1.84%	1.96%	1.79%	2.89%	3.69%	4.47%	7.32%

资料来源: Wind, 海通证券研究所

2. 优化组合对比

本节用 1 个月动量因子分别搭配估价收益率、信用利差和超额利差, 构建优化组合进行对比。组合优化框架如下,

$$\begin{aligned} \min_w \quad & w^T P_{\text{违约}} + \lambda \|w_{i,t} - w_{i,t-1}\|_1 \\ \text{s.t.} \quad & w^T F = TP \\ & 0 \leq w_{i,t} \leq W_{\max 1} \\ & w_{\text{issuer},t} \leq W_{\max 2} \\ & \sum_k w_{i,t} = 1 \end{aligned}$$

优化组合的意义是, 在尽可能降低债券组合违约风险的前提下, 进一步控制单只债券的权重和一定程度上的风险因子暴露。组合优化的参数如下表所示, 换手率目标函数系数为 0.01, 单个债券以及单个债券主体的最大权重均为 5%。而风险因子暴露设为前 10%分位点, 选债的债券池为全市场企业债。

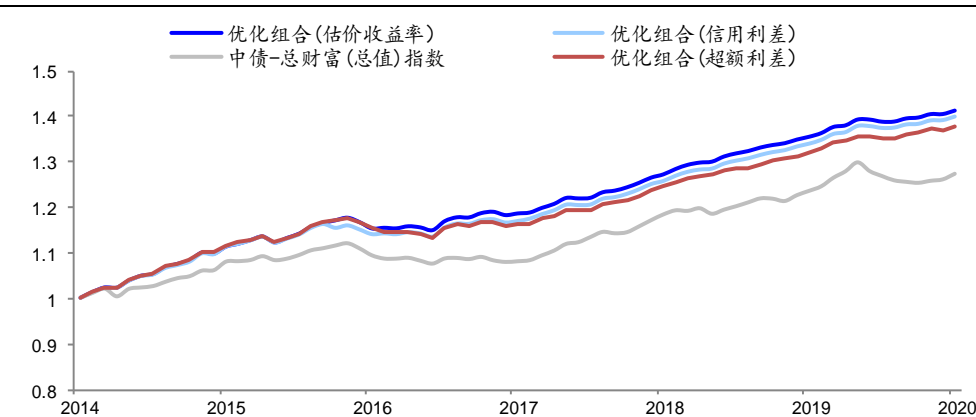
表 11 组合优化参数

参数	参数名	参数值
λ	换手率目标函数系数	0.01
$W_{\max 1}$	单个债券的最大权重	5%
$W_{\max 2}$	单个债券主体的最大权重	5%
TP	风险因子暴露	前 10%分位点

资料来源: Wind, 海通证券研究所

如下图所示, 3 个优化组合均可以战胜基准——中债企业债总财富指数。其中, 估价收益率优化组合的收益相对更高。

图2 债券优化组合的净值对比



资料来源: Wind, 海通证券研究所

从收益风险特征来看，估价收益率、信用利差和超额利差优化组合的年化收益分别为 5.93%、5.79% 和 5.50%，夏普比率分别为 2.94、2.83 和 2.51，最大回撤分别为 -2.33%、-3.48% 和 -3.68%。而基准指数的年化收益为 4.13%，夏普比率为 1.54，最大回撤为 -4.02%。

估价收益率优化组合的平均持券数量为 23 只，信用利差和超额利差优化组合的平均持券数量为 22 只。为了更谨慎地观察优化组合持仓的违约情况，我们不仅计算了违约债券在违约前一个月内是否进入优化组合，还计算了违约债券在违约前三个月内和前六个月内是否进入优化组合。从历史持仓来看，3 个优化组合均没有选到违约债券。

从换手率来看，估价收益率和信用利差组合的月均双边换手率为 8.84%，超额利差组合的月均双边换手率仅为 5.49%。因此，在优化目标包含换手率之后，优化组合可以有效地降低换手率。

表 12 债券优化组合的风险收益特征（2015-2020）

	估价收益率组合	信用利差组合	超额利差组合	中债企业债总财富指数
年化收益	5.93%	5.79%	5.50%	4.13%
年化波动率	2.02%	2.04%	2.20%	2.68%
夏普比率	2.94	2.83	2.51	1.54
最大回撤	-2.33%	-3.48%	-3.68%	-4.02%
平均持券数量	23	22	22	
违约债券数量（1 个月）	0	0	0	
违约债券数量（3 个月）	0	0	0	
违约债券数量（6 个月）	0	0	0	
月均双边换手率	8.84%	8.84%	5.49%	

资料来源：Wind，海通证券研究所

下表展示了债券优化组合历年的业绩表现。除 2018 年，3 个优化组合的超额收益为负之外，其他年份上均可以战胜基准。

表 13 债券优化组合的年度收益对比

	优化组合			基准	超额收益		
	估价收益率组合	信用利差组合	超额利差组合		估价收益率组合	信用利差组合	超额利差组合
2015	11.29%	11.37%	11.63%	8.03%	3.27%	3.35%	3.61%
2016	3.59%	2.45%	3.60%	1.28%	2.31%	1.17%	2.31%
2017	2.87%	2.56%	0.65%	-1.20%	4.08%	3.76%	1.85%
2018	7.27%	7.59%	7.01%	9.61%	-2.34%	-2.02%	-2.60%
2019	6.52%	6.56%	6.02%	4.41%	2.11%	2.15%	1.61%
2020	4.27%	4.48%	4.43%	3.07%	1.20%	1.41%	1.36%

资料来源：Wind，海通证券研究所

如下表所示，估价收益率、信用利差和超额利差优化组合的平均持仓债券规模分别为 8.80 亿元、8.99 亿元和 9.62 亿元，整体上呈现低规模的特点。从期限和久期来看，3 个组合的平均期限和平均久期分别在 3.5 年和 2 年左右。从评级分布来看，3 个组合的债券评级主要为 AA+ 和 AA 级，两个评级合计均占到了 80% 以上。

表 14 债券优化组合的其他特征（2015-2020）

	估价收益率组合	信用利差组合	超额利差组合
规模（亿元）	8.80	8.99	9.62
期限（年）	3.56	3.50	3.82
久期（年）	2.10	2.07	2.29
AAA	13.20%	13.99%	17.18%

AA+	30.71%	32.81%	31.71%
AA	55.30%	52.54%	50.54%
AA-及以下评级	0.79%	0.67%	0.57%

资料来源：Wind，海通证券研究所

3. 优化框架扩展

3.1 添加组合约束

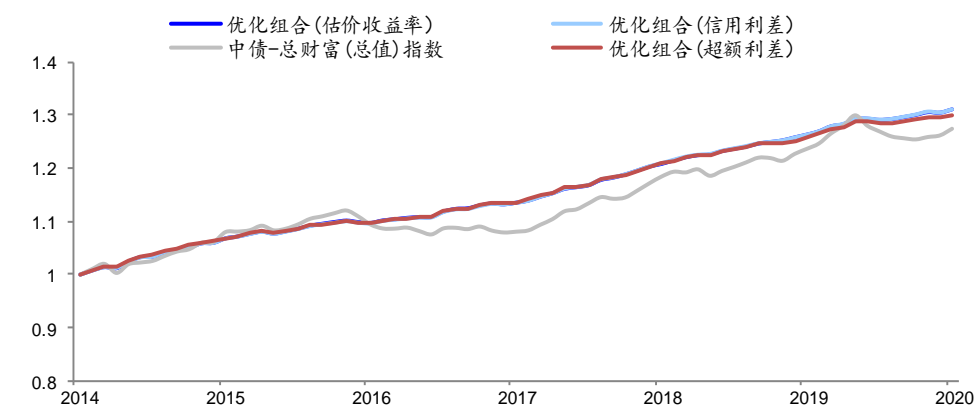
由前文可知，优化组合的持仓债券整体呈现出低规模、评级偏低特征。因此，我们尝试对组合优化添加更多的约束条件，考察新的约束条件对组合的影响。

$$\begin{aligned}
 & \min_w w^T P_{\text{违约}} + \lambda \|w_{i,t} - w_{i,t-1}\|_1 \\
 & \text{s.t. } w^T F = TP \\
 & 0 \leq w_{i,t} \leq W_{\max 1} \\
 & w_{\text{issuer},t} \leq W_{\max 2} \\
 & \sum_k w_{i,t} = 1 \\
 & CR_{i,t} \geq AA+ \\
 & \text{Size}_{i,t} \geq 10 \\
 & w^T \text{Duration} \leq 1
 \end{aligned}$$

如上所示，我们在新的组合优化框架中，对持仓债券的评级、规模以及组合的久期进行约束。具体来说，将持仓的每只债券的评级约束在 AA+及以上，规模在 10 亿元以上，并将组合的久期约束到 1 以下。

如下图所示，添加了约束后的优化组合虽然收益有所降低，但是仍然可以战胜基准，并且波动和回撤更低。

图3 添加约束后的债券优化组合的净值对比



资料来源：Wind，海通证券研究所

从风险收益特征来看，3个优化组合的年化收益分别为 4.59%、4.58%和 4.47%，夏普比率分别为 4.53、4.59 和 4.41，最大回撤分别为 -0.39%、-0.50%和 -0.76%。虽然新框架下的优化组合相比基准的超额收益并不高，但是夏普比和最大回撤远远优于基准。

表 15 添加约束后的债券优化组合的风险收益特征（2015-2020）

	估价收益率组合	信用利差组合	超额利差组合	中债企业债总财富指数
年化收益	4.59%	4.58%	4.47%	4.13%
年化波动率	1.01%	1.00%	1.02%	2.68%
夏普比率	4.53	4.59	4.41	1.54
最大回撤	-0.39%	-0.50%	-0.76%	-4.02%
平均持券数量	23	23	23	
违约债券数量（1个月）	0	0	0	
违约债券数量（3个月）	0	0	0	
违约债券数量（6个月）	0	0	0	
月均双边换手率	8.84%	8.84%	5.49%	

资料来源：Wind，海通证券研究所

从每年的表现来看，虽然优化组合在 2015 年和 2018 年的收益都低于基准，但是整体表现比较稳定。在 2017 年基准收益只有-1.20%的情况下，优化组合的收益可以达到 3.5%左右。

表 16 添加约束后的债券优化组合的年度收益对比

	优化组合			基准	超额收益		
	估价收益率组合	信用利差组合	超额利差组合	中债企业债总财富	估价收益率组合	信用利差组合	超额利差组合
2015	6.79%	6.76%	6.78%	8.03%	-1.24%	-1.27%	-1.25%
2016	2.70%	2.61%	2.65%	1.28%	1.41%	1.32%	1.36%
2017	3.45%	3.55%	3.57%	-1.20%	4.66%	4.75%	4.77%
2018	6.38%	6.49%	6.39%	9.61%	-3.23%	-3.12%	-3.22%
2019	4.53%	4.42%	4.05%	4.41%	0.12%	0.01%	-0.36%
2020	3.75%	3.74%	3.47%	3.07%	0.68%	0.67%	0.40%

资料来源：Wind，海通证券研究所

如下表所示，添加约束之后，3 个优化组合的平均持仓债券规模都在 17 亿元以上，组合久期均为 1。从债券评级的分布来看，AAA 级和 AA+级大约各占一半。

表 17 添加约束后的债券优化组合的其他特征（2015-2020）

	估价收益率	信用利差	超额利差
规模（亿元）	17.16	17.43	17.26
期限（年）	1.86	1.82	1.69
久期（年）	1.00	1.00	1.00
AAA	48.69%	50.40%	52.08%
AA+	51.31%	49.60%	47.92%
AA 及以下评级	0.00%	0.00%	0.00%

资料来源：Wind，海通证券研究所

3.2 优化目标：风险因子暴露

在前文的组合优化框架中，优化的目标是组合违约概率和换手率的最小化，而组合的收益来源于对债券风险因子的暴露。本节将目标函数中的换手率替换为债券的复合风险因子暴露（即 1 个月动量+1 个收益类因子），系数 λ 设为 0.1，并将每期的组合换手率约束在 0.2 以内。

$$\min_w w^T P_{\text{违约}} - \lambda w^T F_{\text{com}}$$

$$\text{s.t. } 0 \leq w_{i,t} \leq W_{\max 1}$$

$$w_{\text{issuer},t} \leq W_{\max 2}$$

$$\sum_k w_{i,t} = 1$$

$$CR_{i,t} \geq AA +$$

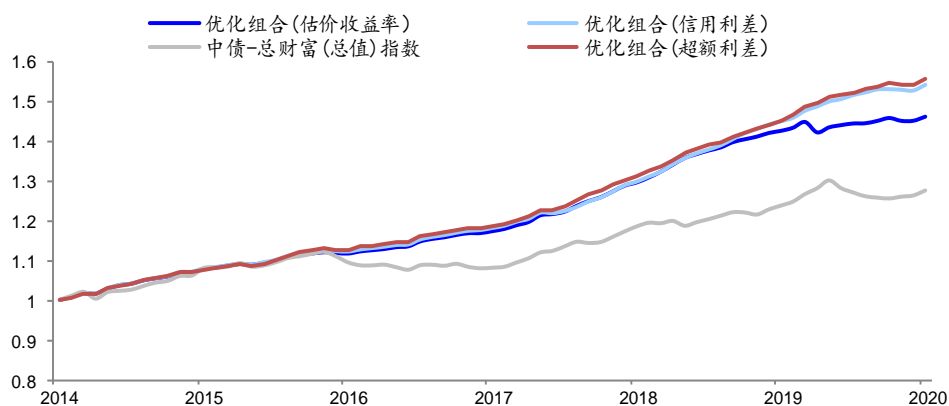
$$Size_{i,t} \geq 10$$

$$w^T \text{Duration} \leq 1$$

$$\|w_{i,t} - w_{i,t-1}\|_1 \leq 0.2$$

如下图所示，3个优化组合均可以大幅跑赢基准，其中超额利差组合收益相对更高。

图4 改变优化目标后的债券优化组合的净值对比



资料来源：Wind，海通证券研究所

从风险收益特征来看，3个优化组合的年化收益分别为6.53%、7.48%和7.64%，夏普比率分别为3.91、5.42和5.58，最大回撤分别为-1.80%、-0.26%和-0.45%。

从违约债券数量来看，将债券的风险因子暴露纳入目标函数之后，优化组合更容易选到违约债券。如果按照违约前1个月的尺度来算，估价收益率和信用利差组合均选到4只违约债券，超额利差组合选到3只；如果按照3个月的尺度来算，估价收益率、信用利差和超额利差组合分别选到5只、7只和4只违约债券；如果按照6个月的尺度来算，估价收益率组合选到5只违约债券，信用利差和超额利差组合均选到8只违约债券。

从换手率来看，3个优化组合的月均双边换手率在19%左右。

表 18 改变优化目标后的债券优化组合的风险收益特征（2015-2020）

	估价收益率	信用利差	超额利差	中债企业债总财富指数
年化收益	6.53%	7.48%	7.64%	4.13%
年化波动率	1.67%	1.38%	1.37%	2.68%
夏普比率	3.91	5.42	5.58	1.54
最大回撤	-1.80%	-0.26%	-0.45%	-4.02%
平均持券数量	22	21	21	
违约债券数量（1个月）	4	4	3	
违约债券数量（3个月）	5	7	4	
违约债券数量（6个月）	5	8	8	
月均双边换手率	18.85%	18.85%	18.85%	

资料来源：Wind，海通证券研究所

从每年的表现来看，优化组合在 2015 年的收益低于基准，但是相对于目标函数只包括违约概率，纳入债券风险因子暴露后，跑输基准的幅度会有明显的下降。

表 19 改变优化目标后的债券组合的年度收益对比

	优化组合			基准	超额收益		
	估价收益率组合	信用利差组合	超额利差组合		估价收益率组合	信用利差组合	超额利差组合
2015	7.87%	7.99%	7.66%	8.03%	-0.16%	-0.03%	-0.37%
2016	3.55%	3.86%	4.74%	1.28%	2.26%	2.58%	3.46%
2017	5.06%	5.30%	5.24%	-1.20%	6.26%	6.50%	6.44%
2018	10.46%	9.86%	10.62%	9.61%	0.86%	0.25%	1.01%
2019	10.03%	11.71%	10.58%	4.41%	5.62%	7.30%	6.16%
2020	2.50%	6.33%	7.18%	3.07%	-0.57%	3.26%	4.11%

资料来源：Wind，海通证券研究所

如下表所示，3 个优化组合的平均持仓债券规模都在 17 亿元以上，组合久期均为 1。从债券评级的分布来看，AAA 级和 AA+ 级的比例大约在 4:6 左右。

表 20 改变优化目标后的债券优化组合的其他特征（2015-2020）

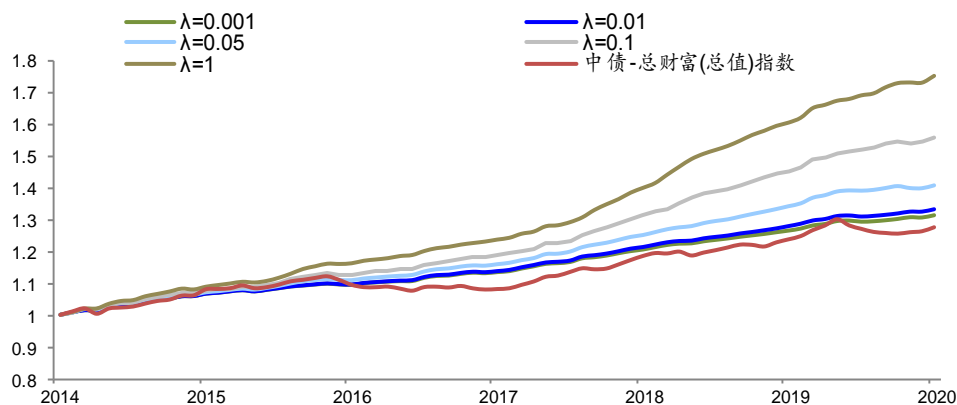
	估价收益率	信用利差	超额利差
规模（亿元）	17.26	17.43	17.68
期限（年）	1.69	1.66	1.64
久期（年）	1.00	1.00	1.00
AAA	42.70%	37.12%	40.10%
AA+	57.30%	62.88%	59.90%
AA 及以下评级	0.00%	0.00%	0.00%

资料来源：Wind，海通证券研究所

3.3 复合风险因子系数的敏感性分析

本节以超额利差为例，对复合风险因子的系数 λ 进行敏感性分析。如下图所示， λ 越高，债券优化组合的收益的也越高。

图5 复合风险因子系数的敏感性分析（累计净值）



资料来源：Wind，海通证券研究所

如下表所示， λ 取 0.001 时，虽然组合的年化收益仅有 4.62%，但并没有选到违约债券。随着 λ 的增大，组合收益提升的同时，选到违约债券的概率和数量也在增加。

表 21 复合风险因子系数的敏感性分析（风险收益特征，2015-2020）

	$\lambda=0.001$	$\lambda=0.01$	$\lambda=0.05$	$\lambda=0.1$	$\lambda=1$
年化收益	4.62%	4.87%	5.88%	7.64%	9.75%
年化波动率	1.01%	1.20%	1.37%	1.37%	1.65%
夏普比率	4.58	4.07	4.29	5.58	5.90
最大回撤	-0.34%	-0.48%	-0.33%	-0.45%	-0.23%
平均持券数量	21	22	22	21	21
违约债券数量（1个月）	0	0	1	3	5
违约债券数量（3个月）	0	1	4	4	7
违约债券数量（6个月）	0	1	7	8	18
月均双边换手率	18.85%	18.85%	18.85%	18.85%	18.85%

资料来源：Wind，海通证券研究所

如下表所示，在优化约束下，组合的规模和久期并没有太大的区别。但是 λ 越高，AAA级债券的持仓比例越低。

表 22 复合风险因子系数的敏感性分析（其他特征，2015-2020）

	$\lambda=0.001$	$\lambda=0.01$	$\lambda=0.05$	$\lambda=0.1$	$\lambda=1$
规模（亿元）	17.29	17.29	17.45	17.68	18.93
期限（年）	1.66	1.66	1.68	1.64	1.47
久期（年）	1.00	1.00	1.00	1.00	0.96
AAA	52.13%	50.68%	44.53%	40.10%	38.04%
AA+	47.87%	49.32%	55.47%	59.90%	61.96%
AA及以下评级	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00

资料来源：Wind，海通证券研究所

4. 总结

首先，本文对1个月动量、3个月动量、6个月动量、估价收益率、信用利差和超额利差，共计6个风险因子的收益表现和特征进行了分析。

其次，本文用1个月动量因子分别搭配估价收益率、信用利差和超额利差，构建优化组合进行对比。优化组合的持仓债券整体呈现出低规模、评级偏低的特征。

最后，本文尝试对组合优化添加更多的约束条件，如，对持仓债券的评级、规模以及组合的久期进行约束，来考察新的约束条件对于组合的影响。另外，本文将组合优化的目标函数中的换手率替换为债券的风险因子暴露，同时将每期的组合换手率约束在0.2以内。新的优化组合收益会有一定的提升，但是也更容易选到违约债券。

5. 风险提示

数据挖掘是从历史先验数据获取经验模型的方法，存在模型失效可能。

信息披露

分析师声明

冯佳睿 金融工程研究团队
张振岗 金融工程研究团队

本人具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，以勤勉的职业态度，独立、客观地出具本报告。本报告所采用的数据和信息均来自市场公开信息，本人不保证该等信息的准确性或完整性。分析逻辑基于作者的职业理解，清晰准确地反映了作者的研究观点，结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

法律声明

本报告仅供海通证券股份有限公司（以下简称“本公司”）的客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见并不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。

本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。

市场有风险，投资需谨慎。本报告所载的信息、材料及结论只提供特定客户作参考，不构成投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需要。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况。在法律许可的情况下，海通证券及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供投资银行服务或其他服务。

本报告仅向特定客户传送，未经海通证券研究所书面授权，本研究报告的任何部分均不得以任何方式制作任何形式的拷贝、复印件或复制品，或再次分发给任何其他人，或以任何侵犯本公司版权的其他方式使用。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。如欲引用或转载本文内容，务必联络海通证券研究所并获得许可，并需注明出处为海通证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。

根据中国证监会核发的经营证券业务许可，海通证券股份有限公司的经营经营范围包括证券投资咨询业务。