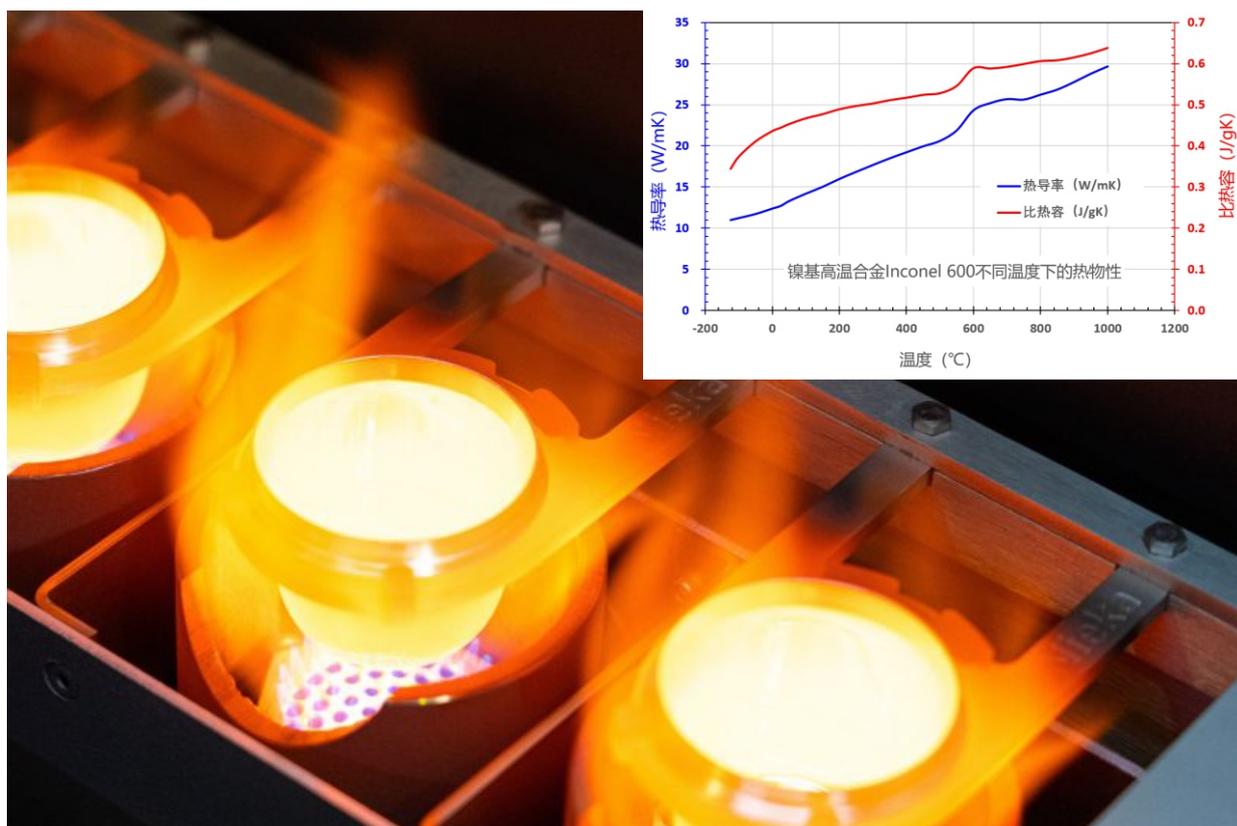


# 合金Inconel 600热导率、比热容、热扩散率、 密度和总半球发射率随温度变化数据汇总

Summary of Data of Thermal Conductivity, Specific Heat Capacity, Thermal Diffusivity, Density and Total Hemispherical Emissivity of Inconel 600 with Temperature



摘要：镍基高温合金 Inconel 600 作为一种常用的金属材料其应用领域十分广泛，准确了解其各种热物理性能参数十分必要，这些参数数据是进行高温设计和热仿真时的重要输入参数。本文汇总了目前国际上 Inconel 600 的高温热物理性能（热导率、比热容、热扩散率、密度和总半球发射率）随温度变化的文献报道数据，由此便于使用这些数据进行热物性测试仪器的比对试验和考核，并提高高温设计和热仿真中参数输入的准确性。

## 1. 简介

Inconel 600 是一种非磁性镍基高温合金，具有高机械强度、冷热加工性和耐腐蚀性。这种合金在退火到强冷加工条件的整个范围内也没有老化或应力腐蚀，它可以使用到 1000°C 而不会发生不可逆的变化。典型 Inconel 600 的材料组分如表 1-1 所示，此组分的 Inconel 600 也是被英国国家物理实验室 (NPL) 用来作为热导率测量中的参考材料。其热处理过程为在干燥纯氢气和露点小于 -50°C 条件下进行 2 小时的 1120°C 热处理，然后在氢气环境下用水冷却。

表 1-1 热导率测量参考材料 Inconel 600 组分

材料	Ni	Cr	Fe	Si	Mn	其他
比重-%	74.4	16.0	8.2	0.29	0.2	0.9

由于 Inconel 600 这类镍基高温合金的应用领域十分广泛，准确了解其各种热物理性能参数十分重要，这些参数数据是进行高温设计和热仿真时的重要输入参数。本文将汇总目前国际上 Inconel 600 的高温热物理性能（热导率、比热容、热扩散率、密度和总半球发射率）随温度变化的文献报道数据，由此便于使用这些数据进行热物性测试仪器的比对试验和考核，有利于提高高温设计和热仿真中参数输入的准确性。

## 2. 热导率、比热容、热扩散率和密度数据

热导率、比热容、热扩散率和密度数据来自文献[1]颁布的对英国国家物理量实验室 (NPL) 热导率参考材料 Inconel 600 的测试结果，其中热导率是比热容、热扩散率和线膨胀率三个独立测试结果的乘积得到，而比热容采用差热扫描量热仪 (DSC) 进行测试，热扩散率采用激光闪光法定测定仪进行测试，线膨胀率采用顶杆法热膨胀仪进行测试。对于

镍基高温合金 Inconel 600 热导率的独立测试，NPL 也采用了轴向恒定热流导热仪进行了专门测量[2]。由于仪器测试能力的限制，NPL 的测试温度最高为 500℃。另外由于所采用的 Inconel 600 样品成分和密度有轻微差别，所以[1]文献[2]和热导率结果会有最大 5% 的偏差，但这个偏差在实际工程使用中可以忽略不计，因此本文所列数据取自文献[1]。热导率、比热容、热扩散率和密度随温度的变化规律分别如图 2-1~图 2-4 所示。

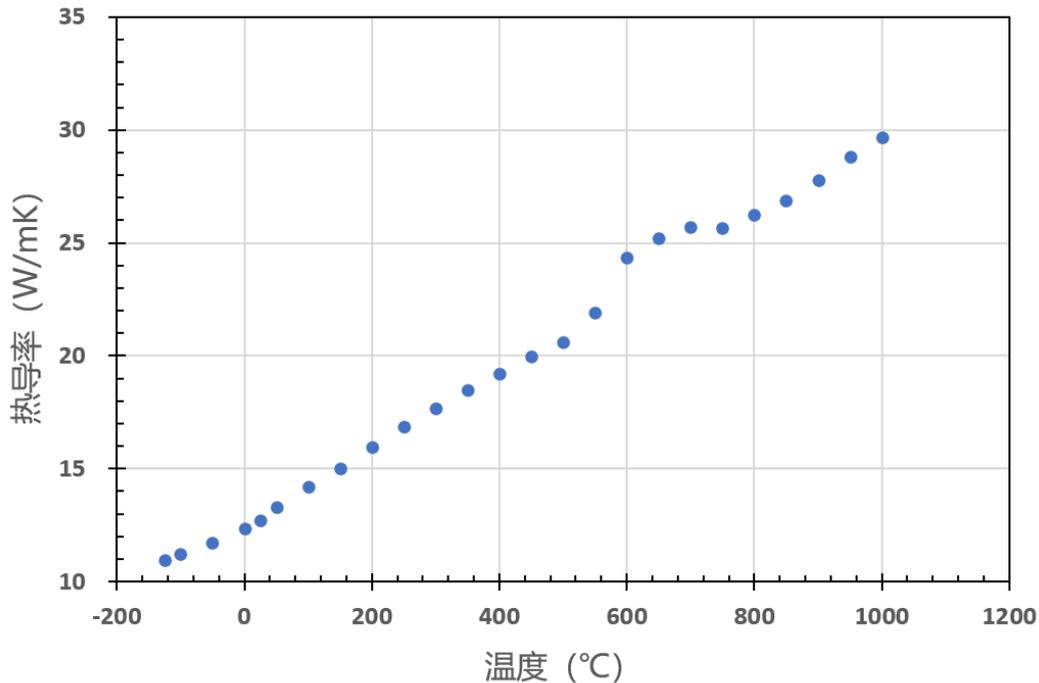


图 2-1 Inconel 600 热导率与温度的关系

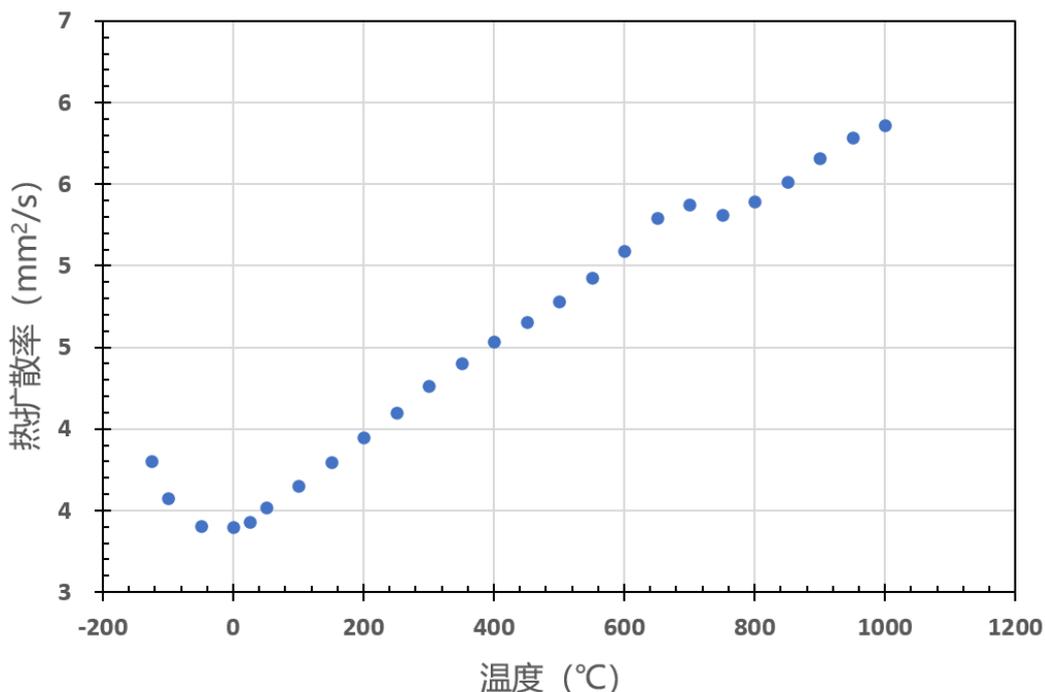


图 2-2 Inconel 600 热扩散与温度的关系

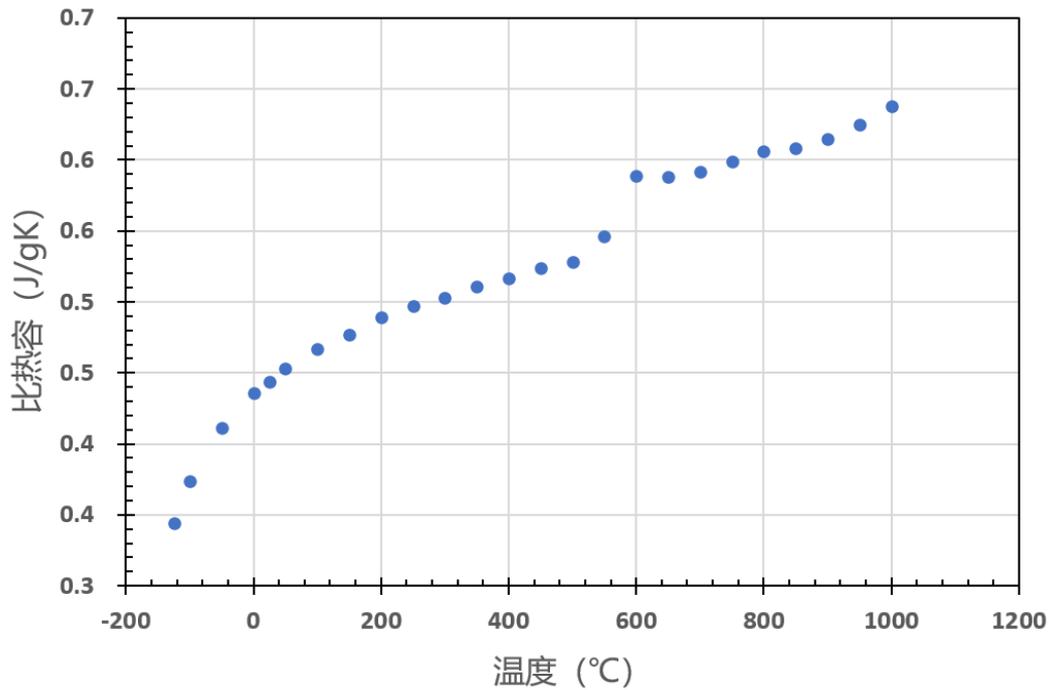


图 2-3 Inconel 600 比热容与温度的关系

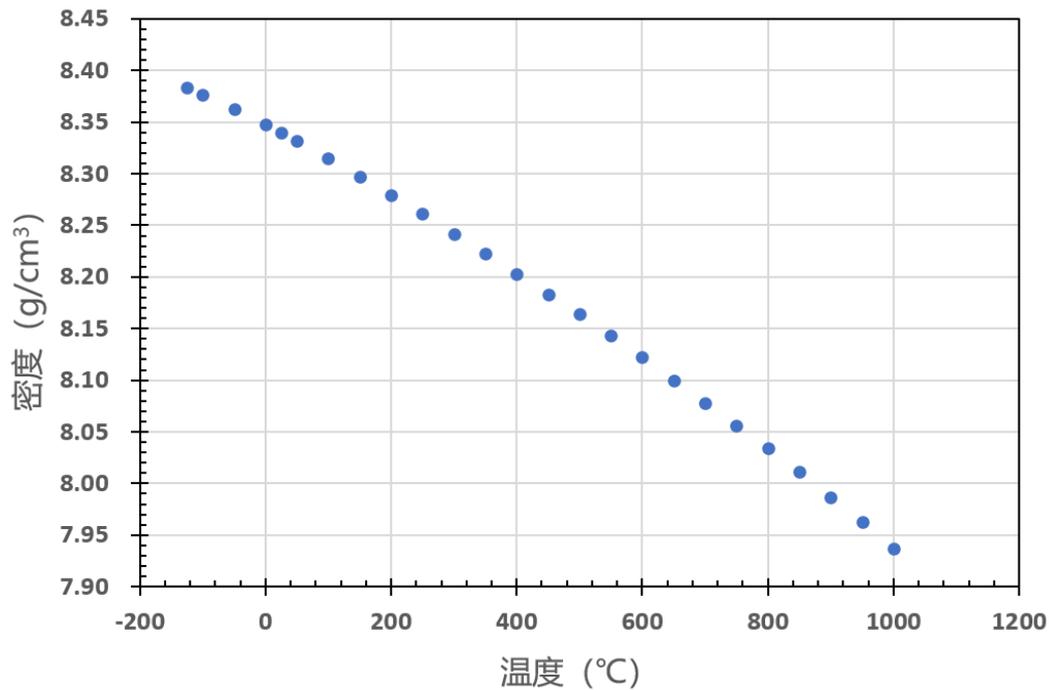


图 2-4 Inconel 600 密度与温度的关系

在这里需要说明的是密度随温度的变化结果, 是由热膨胀系数测试获得, 其中认为镍基高温合金 Inconel 600 是各项同性且温度变化过程中质量不发生变化。由此通过测试 Inconel 600 的线膨胀率来得到体膨胀率和样品的体积变化, 最终用恒定质量除以不同温度下的体积得到密度随温度的变化结果。

汇总热导率、比热容、热扩散率和密度数据，如表 2-1 所示。

表 2-1 Inconel 600 热导率、比热容、热扩散率和密度数据汇总表

温度 (°C)	热扩散系数 (mm <sup>2</sup> /s)	比热容 (J/gK)	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	热导率 (W/mK)
-125	3.801	0.344	8.383	10.961
-100	3.577	0.374	8.377	11.207
-50	3.405	0.411	8.363	11.704
0	3.397	0.436	8.348	12.364
25	3.428	0.444	8.340	12.694
50	3.519	0.453	8.332	13.283
100	3.653	0.467	8.315	14.184
150	3.794	0.477	8.297	15.016
200	3.947	0.489	8.279	15.980
250	4.102	0.497	8.261	16.842
300	4.264	0.503	8.242	17.678
350	4.400	0.511	8.223	18.488
400	4.534	0.517	8.203	19.229
450	4.654	0.524	8.183	19.957
500	4.783	0.528	8.164	20.617
550	4.926	0.546	8.143	21.902
600	5.090	0.589	8.122	24.350
650	5.295	0.588	8.100	25.220
700	5.375	0.592	8.078	25.705
750	5.315	0.599	8.056	25.648
800	5.392	0.606	8.034	26.250
850	5.517	0.608	8.011	26.871
900	5.657	0.615	7.987	27.788
950	5.788	0.625	7.963	28.805
1000	5.863	0.638	7.937	29.689

### 3. 总半球发射率数据

总半球发射率也是材料的重要热物理性能参数之一，代表着材料表面的热辐射能力，是研究热辐射测量、辐射传热以及热效率分析的最重要基础物理性能数据。

由于总半球发射率与材料的表面状态关系密切，针对镍基高温合金 Inconel 600 的总半球发射率，本文汇总了美国热物性研究实验室 (TPRL) 进行不同热处理和原始状态样品的总半球向高温测试结果[3][4]，此测试结果被美国桑迪亚国家实验室用作 Inconel 600 高温总半球发射率的典型数据。

TPRL 测试总半球向发射率采用了稳态量热法，样品直接通电加热至高温进行测量，其五种表面状态下总半球发射率随温度变化测试结果如图 3-1 所示，数据如表 3-1 所示。

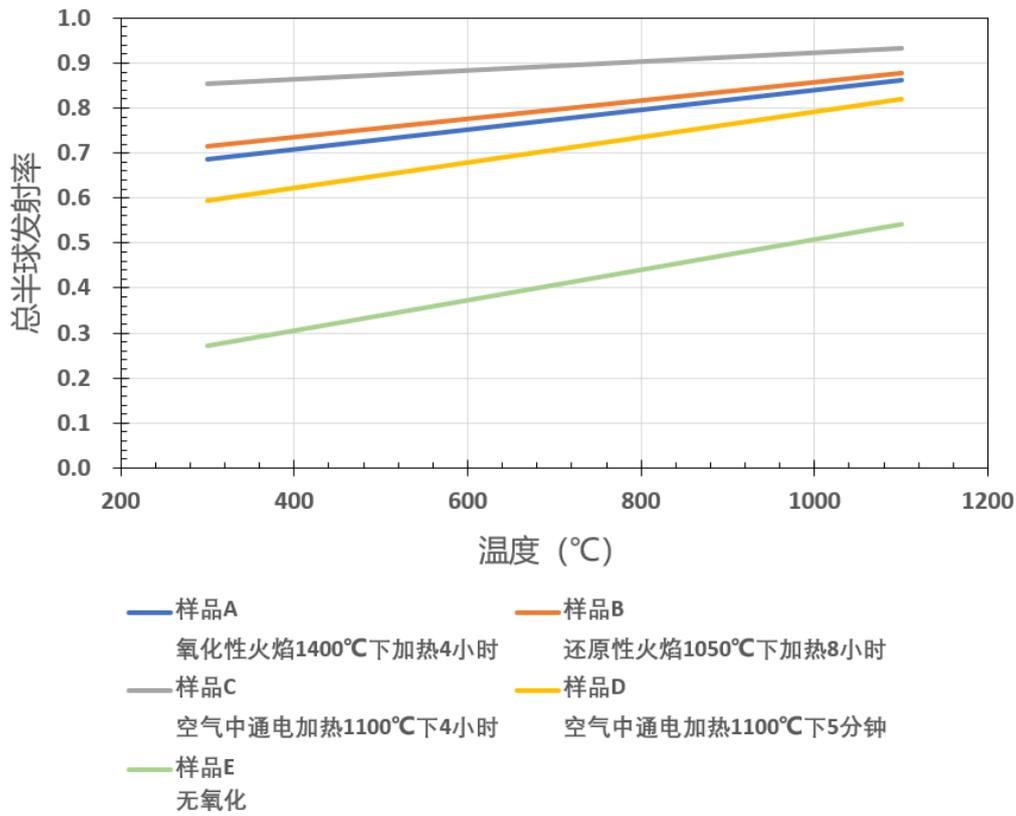


图 3-1 不同热处理后 Inconel 600 不同温度下的总半球发射率

表 3-1 作为不同温度和表面处理状态下的 Inconel 600 总半球发射率测试数据

Sample A		Sample B		Sample C		Sample D		Sample E	
T (°C)	ε								
295	0.69	284	0.713	300	0.858	309	0.59	338	0.3
406	0.715	403	0.742	386	0.867	408	0.62	484	0.345
511	0.738	504	0.764	459	0.875	493	0.65	544	0.367
606	0.755	596	0.782	533	0.884	559	0.674	600	0.378
679	0.773	673	0.801	602	0.887	625	0.694	653	0.387
752	0.785	746	0.812	664	0.895	687	0.71	701	0.4
818	0.802	813	0.822	724	0.899	745	0.727	747	0.41
882	0.814	876	0.832	782	0.904	798	0.733	812	0.424
937	0.826	936	0.841	837	0.907	851	0.744	867	0.445
996	0.833	990	0.857	888	0.912	900	0.756	918	0.475
1045	0.848	1044	0.867	935	0.914	950	0.762	973	0.506
1092	0.862	1090	0.878	985	0.921	992	0.78	1012	0.52
1107	0.87	1125	0.889	1030	0.923	1032	0.792	1082	0.546
1043	0.858	1059	0.866	1071	0.929	1106	0.821	1159	0.572
993	0.828	937	0.838	927	0.924	1141	0.835	1058	0.523
818	0.803	816	0.813	829	0.903	1181	0.85	924	0.494
678	0.77	677	0.789	727	0.892	1025	0.805	780	0.439
518	0.73	513	0.75	608	0.881	892	0.776	654	0.386
314	0.674	313	0.702	467	0.863	677	0.707	556	0.342
				305	0.846	452	0.63	344	0.283

## 4. 参考文献

- [1] Blumm J, Lindemann A, Niedrig B. Measurement of the thermophysical properties of an NPL thermal conductivity standard Inconel 600[C]//Proc. of 17th European Conference on Thermophysical Properties. 2003: 621-626.
- [2] Wu J, Morrell R, Clark J, et al. Characterisation of the NPL Thermal Conductivity Reference Material Inconel 600[J]. International Journal of Thermophysics, 2021, 42(2): 1-15.
- [3] [7] J. Gembarovic, "Total Hemispherical Emissivity of Thermocouple Sheaths, in A Report to Sandia National Laboratories," Thermophysical Properties Research Laboratory, Inc., West Lafayette, IN, 2005.
- [4] A. L. Brundage, et al., "Thermocouple Response in Fires, Part 1: Considerations in Flame Temperature Measurements by a Thermocouple," Journal of Fire Sciences, vol. 29, no. 3, pp. 195-211, 2011.

