

Heinz Herwig
Wärmeübertragung A – Z
Systematische und ausführliche Erläuterungen wichtiger Größen und Konzepte

传热词汇A-Z

——基本概念与详尽诠释

(德)海恩茨·赫尔威格(Heinz Herwig) 著

彭晓峰 张扬 译



传热词汇 A-Z

——基本概念与详尽诠释

Wärmeübertragung A-Z

Systematische und ausführliche Erläuterungen
wichtiger Größen und Konzepte

(德) 海恩茨·赫尔威格 (Heinz Herwig) 著
彭晓峰 张 扬 译

机械工业出版社

Wärmeübertragung A-Z : Systematische und ausführliche Erläuterungen
wichtiger Größen und Konzepte

Heinz Herwig

ISBN 3-540-66852-7

Springer-Verlag ist ein Unternehmen der Fachverlagsgruppe Bertels-
mannSpringer

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2000

本书中文简体字版由 Springer-Verlag 授权机械工业出版社在中国
独家出版发行。

版权所有，侵权必究。

北京市版权局著作权合同登记号：01 - 2006 - 0640

图书在版编目 (CIP) 数据

传热词汇 A-Z——基本概念与详尽诠释 / (德) 海恩茨·赫尔威格
(Herwig, H.) 著; 彭晓峰, 张扬译. —北京: 机械工业出版社,
2007. 6

ISBN 978-7-111-21472-4

I. 传… II. ①海…②彭…③张… III. 传热学-词汇
IV. TK124-61

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 067294 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 蔡开颖 版式设计: 霍永明 责任校对: 陈延翔

封面设计: 陈 沛 责任印制: 李 妍

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷装订

2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·10.625 印张·400 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-21472-4

定价: 38.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010)68326294

购书热线电话: (010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010)88379713

封面无防伪标均为盗版

序

Springer 公司出版的德国名家 Herwig 教授所著《Wärmeträgertragung A-Z》一书，由德国工程师协会（VDI）列为 VDI 丛书。在获得版权许可后，我国机械工业出版社决定出版中译本。原书的体例特色以及词条分类都已照译。作为先睹者，写点读后感附于中译本，供读者参考。

正如原序所指明，作者编撰本书的目的并非为传热学教学提供正式教材，而是作者长期工作的体念，想为实际工作者提供以词汇方式编列的启发性资料。但本书又不同于通常的词典和手册，强调基础性的概念、定义及其正确的运用，包括典型计算示例。每个词条都指明其物理背景、应用和实例，讨论其词名在历史沿用中的欠妥之处。列出相关的词条，通过不同词条的互补性纵横交错地传播和充实对传热学知识的理解。

客观世界的物质多样性及其分布的不均匀，并受太阳辐射和人类活动的影响，生态环境与物质形态的变迁使自然界的温度分布随机又自律性地变动，传热成为最普遍的自然现象之一。传热是自发的不可逆过程，但依然遵循热力学的普遍规律，即能的形式可以转变、但总量不变，一切自发过程总伴随有用能（“烟”）的损失。本书强调，作为“迁移能”的“热流”引发“熵流”，出现“烟”部分地转化为“熵”（“烟”的概念和“烟经济分析”源于 60 年前的德国热力学界）。这种本质上的强调，使新兴学科传热学有了与热力学重新融合的新态势。为此，本书增添了原本属于热力学、但与传热有关的词条，例如热设备与传热在“热力循环”中的作用。其实，传热学一直与热力学一起成为热现象分析和热工技术发展的理论基础。

本书的词条中还包括传统传热学课程所不够重视甚或被忽视的内容。例如：直接影响传热的“温度”和“热流”两个关键量的测量原理与方法和技术；高温和低温氛围的建立与热管理；作为新型传热元件与设备的“热管”、“热泵”等专业词条。所以中译本取名《传热词汇 A-Z》，以有别于传统传热学范畴。

上举各点，算是对作者所述的本书特色说明的某些补充。笔者确实认为：本书非常适合于实际工作者、包括从事传热研究和热设备的热管理设计与改进者参考，也有利于传热学教与学的温故而知新。

王补宣
于北京清华园

译者的话

本书的作者 Heinz Herwig (海恩茨·赫尔威格) 教授, 是国际热流体与传热学术界十分活跃的知名学者和教育家, 出版有 7 本学术专著, 国际知名学术刊物上发表了学术论文 160 余篇, 近年在微纳米传热传质领域更是颇有建树。Herwig 教授对中国非常友好, 有着深厚的感情, 多次访问中国和出席在中国举行的各种国际会议。

2004 年暑期, 译者有幸作为老朋友接待 Herwig 教授, 参观访问清华大学相变与界面传递现象实验室, 与他就微尺度传热等方面的研究进行广泛的学术交流。在受益良多的同时, 他将本书送给实验室和译者, 并希望把这一德文著作译成中文。尽管译者的德文水平有限, 依然被原著启发性概念讨论、互补性知识理解的风格和独具匠心、新颖别致的编排所吸引, 也从自身的教学经历中深深地感到, 无论教学还是学习都迫切需要一本便于查阅、有助对专门概念内涵、细节问题深入理解的补充读物。这或许就是译者斗胆翻译本书的缘由吧。

本书的翻译得到了清华大学相变与界面传递现象实验室研究生和本科生的热情鼓励和全力支持, 他们不仅承担了许多具体的文字录入、公式和图表编排等工作, 尤其从学生的角度为本书的翻译提供实用性依据, 也提出了许多具体的宝贵意见和建议。王补宣院士以 85 岁的高龄, 一丝不苟、一字一句地修改和校正翻译文稿, 令译者感动不已! 这不仅减少了因译者学识疏浅可能的误译, 更大大为中译版增色添彩, 还专门为中译版作序, 犹如画龙点睛。

翻译过程中, Herwig 教授给予了全方位的支持和帮助, 包括提供原版著作和其他原始资料, 以及协助处理与原著出版商——施普林格公司的翻译版权许可问题等。译者还要感谢北京科技大学张欣欣教授的支持, 感谢给予各方面帮助的同仁、学生和亲朋好友。希望能以此书的出版给家人的理解和支持一个回报!

译者的本意只是愿以自己微薄之力, 为国内同行、相关学科领域科技工作者、工程技术人员、研究生和大学生等, 提供一些有帮助的工作和学习参考资料, 不敢奢望能译出一本学科基础理论专著, 毕竟学识和专业知识和德文水平有限, 翻译中难免会有错误或不当之处, 恳请读者批评斧正!

译者
于清华大学

原 书 序

撰写本书的驱动力源于作者自身科研教学的痛苦经历。本人常为了寻求传热学中一个术语的确切概念和内涵而去查阅大量的书籍资料，但往往发现，真正需要的信息却在书籍资料所列的参考文献中。因此，非常需要编著一本类似“字典”的书，它内容系统，格式统一，便于查阅。必然地，首先要明确从什么角度来论述各个概念。

本书将在可比的框架内讨论所有的概念。如何选择所囊括的概念和词条，很大程度上受主观因素影响，很难做到完美。但本书力争不放过任何一个重要的概念，最大程度地为读者提供方便。

本书不是用来代替传热学的经典著作和教材，而是一本补充读物（希望如此），以帮助大家学习、掌握和灵活运用相关知识。在这个意义上，本书不适合学习传热知识的入门者，而是更多地为工程师、科研工作者和实际应用人员提供帮助，以便他们增进对某些专门、细节问题的深入认识。

作者对 Marco Schumamm 先生（他本人和其他人一起完成了 LATEX 宏制作）、Kristian Rink 先生、Daniel Decker 先生和 Holge Oest 先生等致以诚挚的谢意，如果没有他们不知疲倦的辛勤耕耘，难以想象书稿能顺利完成和付印。感谢工学博士 Andreas Moschallski 在学术问题上激烈而真诚的讨论以及提出的许多宝贵意见。

最后，要感谢与施普林格出版社的愉快合作。

海恩茨·赫尔威格
汉堡 1999 年 10 月

体 例 特 色

原著指明的本书体例特色

本书有以下突出的特点：

□ 词条都在可比范围内讨论，对每个词条，按统一格式包括以下内容：

意义和定义

物理背景

应用和实例

说明

进一步的参考文献

□ 当引用其他词条时，用黑体标出[○]。例如：……**导热方程**。这起提示作用，不是要强调所有出现的词条。

□ 每个词条都用大约相同的篇幅来说明，也有些词条没有自身的解释，而是通过引入其他词条来说明。这些引用出现在词条后面，所有这些词条都按德文字母音序排列在词条目录里。

□ 所有有量纲物理量都带有*标注，没有*的为量纲一的量。

□ 物理量单位表达中，斜线后面的为分母量纲。比如 $[\text{kg}/\text{m s}]$ 表示 $[\text{kg}/(\text{m s})]$ 。

□ 热力学温度统一用 T^* 表示，温度可以用摄氏温标或开氏温标，相应单位是 $^{\circ}\text{C}$ 或 K。

□ 进一步的参考文献按发表时间顺序排列，最新的文献列在最前面。

本书中文版体例补充

□ 本书中文版目录仍按原书，以德文词首字母从 A 到 Z 排列，故目录中各词条除有中译名外仍保留原德文名，而正文中各词条名并放德文、中文和英文（放在括号内）。

○ 原文用大写突出。——译者注

目 录

序	III
译者的话	IV
原书序	V
体例特色	VI
词条目录	VIII
正文	1
经典传热学著作	318
经典热力学著作	319
分类词条索引	320
附录 常用下标中德文对照	325

词条目录

(词条按德文词首字母从 A 到 Z 排序)

A

Adiabate Wandtemperatur T_{ad}^* 绝热壁面温度 T_{ad}^*	1
Analogie 比拟	4
Anergie (→Exergie) 炆 (→焔)	6

B

Behältersieden 池沸腾	7
Bénard Konvektion 贝纳德对流	11
Biot-Zahl Bi 毕渥数 Bi	14
Blasensieden (→Sieden) 核态沸腾 (→沸腾)	17
Boussinesq-Approximation Boussinesq 近似	18
Brinkman-Zahl Br (→Eckert-Zahl Ec) Brinkman 数 Br (→Eckert 数 Ec)	20

C

Colburn-Zahl Co (→Analogie) Colburn 数 Co (→比拟)	20
--	----

D

Dimensionsanalysis 量纲分析	21
--------------------------------------	----

E

Eckert-Zahl Ec Eckert 数 Ec	24
Eigentemperatur (→Adiabate Wandtemperatur T_{ad}^*) 特征温度 (→绝热壁面温度 T_{ad}^*)	26
Einstrahlzahl φ_{ij} 角系数 φ_{ij}	27
Empfundene Temperatur (→Fühlbare Temperatur T_f) 平均辐射温度 (→感知温度 T_f)	33
Energiegleichung, thermische (→Thermische Energiegleichung) 热能量方程 (→能量方程)	33

Entropie S^* 熵 S^*	34
Entropieproduktion S_{Pro}^* 熵产 S_{Pro}^*	38
Exergie 炯	44
F	
Filmkondensation 膜状凝结	47
Filmkühlung 气膜冷却	50
Filmsieden (→Sieden) 膜态沸腾 (→沸腾)	53
Filmtemperatur (→Referenztemperatur-Methode)	
膜温度 (→参考温度法)	53
Fouriersches Wärmeleitungsgesetz 傅里叶导热定律	54
Fourier-Zahl Fo 傅里叶数 Fo	56
Froude-Zahl Fr 弗劳德数 Fr	58
Fühlbare Temperatur T_i^* 感知温度 T_i^*	61
G	
Graetz-Problem Graetz 问题	64
Graetz-Zahl Gz (→Graetz-Problem)	
Graetz 数 Gz (→Graetz 问题)	67
Grashof-Zahl Gr 格拉晓夫数 Gr	68
Grenzschicht 边界层	71
H	
Hohlraumstrahlung (→Strahlung Schwarzer Körper)	
空腔辐射 (→黑体辐射)	75
I	
Induktionsheizung 感应加热	76
J	
Joulesche Wärme 焦耳热	79
K	
Kältemaschine 制冷机	81
Kältemittel 制冷剂	85
Kondensation 凝结	89

Kondensator 冷凝器	92
Konjugierter Wärmeübergang 耦合传热	95
Konstitutive Gleichungen 本构方程	97
Kontaktwiderstand (→ Thermischer Kontaktwiderstand R_K^*)	
接触电阻 (→接触热阻 R_K^*)	99
Konvektive Wärmeübertragung 对流传热	100
Kopplungseffekt (→ Konstitutive Gleichungen)	
耦合作用 (→本构方程)	103
Kritische Wärmestromdichte (→ Sieden)	
临界热流密度 (→沸腾)	103
Kühlgrenztemperatur T_{KG}^* 绝热饱和温度 T_{KG}^*	104
L	
Latente Wärme 潜热	107
Leidenfrost-Temperatur (→ Sieden) Leidenfrost 温度 (→沸腾)	110
Lévéque-Lösung Lévéque 解	111
M	
Merit-Zahl Me (→ Wärmerohr) Merit 数 Me (→热管)	114
Mikrowellenheizung 微波加热	115
N	
Nicht-Fouriersche Wärmeleitung 非傅里叶导热	118
Nußelt-Zahl Nu 努塞尔数 Nu	122
P	
Peclet-Zahl Pe 贝克来数 Pe	125
Peltier-Effekt (→ Thermoelement) Peltier 效应 (→热电偶)	127
Peltier-Koeffizient (→ Thermoelement)	
Peltier 系数 (→热电偶)	127
Prandtl-Zahl Pr 普朗特数 Pr	128
Prandtl-Zahl, turbulente (→ Turbulente Prandtl-Zahl Pr_t)	
普朗特数, 湍流 (→湍流普朗特数 Pr_t)	130
R	
Rayleigh-Bénard Konvektion (→ Bénard Konvektion)	

瑞利-贝纳德对流 (→贝纳德对流)	130
Rayleigh-Zahl Ra (→Grashof-Zahl Gr)	
瑞利数 Ra (→格拉晓夫数 Gr)	130
Referenztemperatur 参考温度	131
Referenztemperatur-Methode 参考温度法	135
Regenerator (→Wärmeübertrager) 蓄热换热器 (→换热器)	138
Rekuperator (→Wärmeübertrager) 回热换热器 (→换热器)	138
Reynolds-Analogie (→Analogie) 雷诺比拟 (→比拟)	138
Reynolds-Zahl Re 雷诺数 Re	139
Richardson-Zahl Ri 里查逊数 Ri	142
Rückgewinnfaktor r 恢复系数 r	144

S

Schmelzenthalpie (→Latente Wärme) 熔化热 (→潜热)	146
Seebeck-Effekt (→Thermoelement)	
Seebeck 效应 (→热电偶)	147
Siedekrise (→Sieden; Strömungssieden)	
沸腾危机 (→沸腾; 强迫对流沸腾)	147
Sieden 沸腾	148
Solarstrahlung 太阳辐射	152
Soret-Effekt (→Thermodiffusion) Soret 效应 (→热扩散)	155
Speisewasservorwärmung (→Zwischenüberhitzung)	
给水预热 (→再热)	156
Stanton-Zahl St (→Nußelt-Zahl Nu)	
斯坦顿数 St (→努塞尔数 Nu)	156
Stilles Sieden (→Sieden) 自由表面蒸发 (→沸腾)	156
Stoffwertverhältnis-Methode 物性比例法	157
Strahlung Grauer Körper 灰体辐射	161
Strahlung realer Körper 实际表面辐射	163
Strahlung Schwarzer Körper 黑体辐射	169
Strahlung von Gasen 气体辐射	175
Strömungssieden 强迫对流沸腾	179
Sublimationsenthalpie (→Latente Wärme) 升华热 (→潜热)	182

T

Temperatur (→ Thermodynamische Temperatur T^*)	
温度 (→ 热力学温度 T^*)	182
Temperaturleitfähigkeit 热扩散率	183
Temperaturmessung 温度测量	187
Thermische Einlaufänge L_{th}^* 热进口段长度 L_{th}^*	191
Thermische Energiegleichung 能量方程	195
Thermische Isolation 隔热	199
Thermischer Ausdehnungskoeffizient β^* 热膨胀系数 β^*	203
Thermischer Kontaktwiderstand R_K^* 接触热阻 R_K^*	206
Thermodiffusion 热扩散	210
Thermodynamische Mitteltemperatur 热力学平均温度	214
Thermodynamischer Kreisprozeß 热力循环	218
Thermodynamische Temperatur T^* 热力学温度 T^*	221
Thermoelement 热电偶	226
Thermosyphon (→ Wärmerohr) 热虹吸 (→ 热管)	230
Transpirationskühlung 发汗冷却	231
Treibhauseffekt 温室效应	234
Tropfenkondensation 珠状凝结	237
Turbulente Prandtl-Zahl Pr_t 湍流普朗特数 Pr_t	240

V

Variable Stoffwerte 变物性	243
Verbesserung des Wärmeüberganges 强化传热	247
Verdampfer 蒸发器	251
Verdunstungskühlung (→ Transpirationskühlung)	
蒸发冷却 (→ 发汗冷却)	253

W

Wärme 热	254
Wärmedurchgangskoeffizient k^* 总传热系数 k^*	256
Wärmekapazität 热容	259
Wärmekraftprozesse 热机过程	264
Wärmeleitfähigkeit λ^* 热导率 λ^*	268
Wärmeleitung 导热	271

Wärmeleitungsgleichung 导热方程	274
Wärmepumpe 热泵	278
Wärmerohr 热管	283
Wärmespeicherung 蓄热	287
Wärmestrahlung 热辐射	291
Wärmestrommessung 热流测量	296
Wärmeübergangsbeziehung (→Wärmeübergangskoeffizient α^*)	
对流传热关系式 (→表面传热系数 α^*)	300
Wärmeübergangskoeffizient α^* 表面传热系数 α^*	301
Wärmeübertrager 换热器	304
Wärmeübertragung 传热	309
Wärmewiderstand R_{th}^* 热阻 R_{th}^*	311
Widerstandsheizung (→Joulesche Wärme)	
电阻加热 (→焦耳热)	313
Widerstandsthermometer (→Temperaturmessung)	
电阻温度计 (→温度测量)	313

Z

Zwischenüberhitzung 再热	314
-------------------------------------	-----

Adiabate Wandtemperatur T_{ad}^*

绝热壁面温度 T_{ad}^*

(adiabatic wall temperature T_{ad}^*)

意义和定义

特指壁面绝热时气流粘性（在壁面边界层内部）耗散作用产生的壁面温度（分布）。

	定 义	
$\dot{q}_w^*(x^*) = 0 \text{ 时, } T_{ad}^*(x^*) = T_w^*$		
T_{ad}^*	绝热壁面温度	K
T_w^*	壁面温度	K
x^*	壁面坐标	m
$\dot{q}_w^*$	垂直于壁面的热流密度	W/m^2

物理背景

由于壁面边界层的耗散作用，即使没有通过壁面的热量传递，在有流体流过的壁面上也能产生温度边界层。在这种无热量传递通过时的绝热壁面上温度分布高于环境温度，这是因为耗散过程总是朝向热力学能升高的方向进行的。如果壁面温度在特定位置 x^* 处是定值，称其为壁面的特征温度，或特征温度分布。图 1 所示为基本的温度曲线走势。

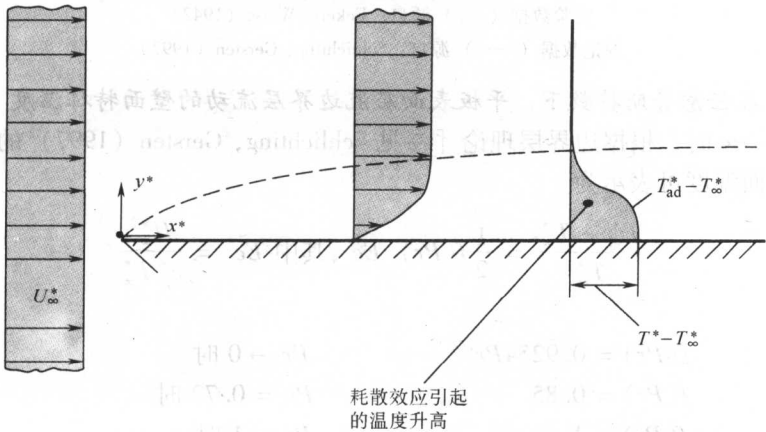


图1 平板的绝热壁面温度 ($Pr \approx 1$)

即便热量能够通过壁面,耗散作用也会影响壁面温度。特征温度和特征温度分布的概念专指壁面绝热这一特殊情况。

当耗散不能忽略时,绝热壁面温度对有传热的流动很有意义,传热学中选择 $\Delta T^* = T_w^* - T_{ad}^*$ 作为特征温差,参见词条恢复系数。

应用和实例

1. 空气 ($Pr=0.72$) 流经平板时的壁面特征温度

当普朗特数 $Pr=0.72$ 时,图2给出了雷诺数范围 $10^5 \leq Re \leq 5 \times 10^6$ 的壁面绝热温度。

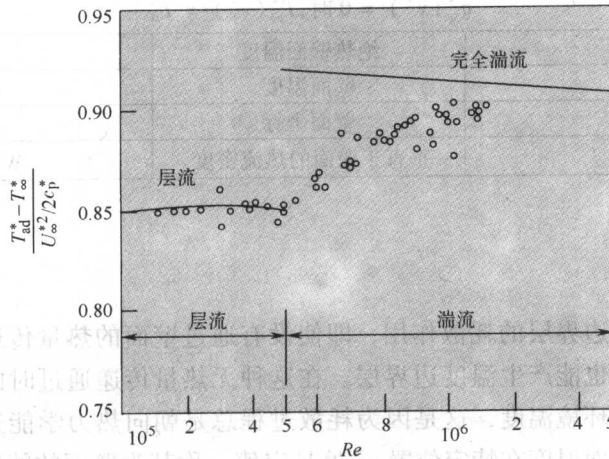


图2 空气流经平板表面的壁面特征温度 ($Pr=0.72$)

实验数据 (ooo) 源自: Eckert, Weise (1942)

理论数据 (—) 源自: Schlichting, Gersten (1997)

2. 在任意普朗特数下,平板表面层流边界层流动的壁面特征温度

$Re \rightarrow \infty$ 时,根据边界层理论 [参见 Schlichting, Gersten (1997) 的著作],绝热壁面温度可表示为

$$\frac{T_{ad}^* - T_{\infty}^*}{T_{\infty}^*} = \frac{1}{2} f(Pr) \tilde{Ec}, \text{ 其中 } \tilde{Ec} = \frac{U_{\infty}^{*2}}{c_p^* T_{\infty}^*}$$

并且

$$\begin{aligned} f(Pr) &= 0.9254 Pr^{1/2} & Pr \rightarrow 0 \text{ 时} \\ f(Pr) &= 0.85 & Pr = 0.72 \text{ 时} \\ f(Pr) &= 1 & Pr = 1 \text{ 时} \\ f(Pr) &= 1.9222 Pr^{1/2} - 1.341 & Pr \rightarrow \infty \text{ 时} \end{aligned}$$

由此得出不同流体在 $U_{\infty}^* = 20\text{m/s}$ 、 $T_{\infty}^* = 293\text{K}$ （液态钠 $T_{\infty}^* = 473\text{K}$ ）、 $P_{\infty}^* = 10^5\text{Pa}$ 时的绝热壁面温度，见表 1。

表 1 绝热壁面温度

流体	Pr	$\widetilde{Ec}$	$f(Pr)$	$(T_{ad}^* - T_{\infty}^*) / ^\circ\text{C}$
液态钠	0.0074	6.3×10^{-4}	0.08	0.01
空气	0.72	1.35×10^{-3}	0.85	0.17
油	10400	7.2×10^{-4}	40.62	4.3

说明

□ 绝热壁面的温度升高值常用恢复系数（recovery factor） $r = (T_{ad}^* - T_{\infty}^*) / (U_{\infty}^{*2} / 2c_p^*)$ 来表示。这个比例中包括了两种物理效应。

- $T_{ad}^* - T_{\infty}^*$ ：耗散作用引起的壁面温度升高。
- $U_{\infty}^{*2} / 2c_p^*$ ：定比热容理想气体无摩擦绝热滞止温升。 $U_{\infty}^{*2} / 2c_p^* = T_0^* - T_{\infty}^*$ ，其中 T_0^* 是来流滞止温度，表示将全部动能转化为热力学能时的温度。

这两种作用在物理本质上完全不同，比值（对理想气体）没有多大意义。此外，“恢复”的含义也让人费解。

只有对高速流动的气体，恢复系数 r 才有重要意义。

□ 如果耗散对传热影响不能忽略，如下的思考会有助于理解。

传热关联式以努塞尔（Nusselt）数或表面传热系数表示，一般只适应低速情况，（没有耗散， $Ec \rightarrow 0$ ）。如果用于高速流，特征温差可以用 $T_w^* - T_{ad}^*$ 来代替。这显然有助于对绝热壁面温度的认识。

还应注意，在传热关联式（原先在低速下成立）中，要使用合适的参考温度来确定物性。

进一步的参考文献

Schlichting, H. ; Gerster. , K. (1997): *Grenzschicht-theorie*, Springer-verlag, Berlin, Herdelberg, New York

White, F. M. (1988): *Heat and Mass Transfer*, Addison-Wesley Publ. Comp. , Reading (Mass.)