

焊接工程学

管乐著

新时代出版社



焊 接 工 程 学

曾 乐 著

新 时 代 出 版 社

内 容 简 介

本书从全面质量管理与控制角度向读者介绍了焊接结构用钢选择材料, 结构的设计与计算, 结构的制造、安装以及工程的验收等各方面的
问题。

本书取材于作者多年来从事焊接结构设计与施工的经验, 并适当地吸取了国外先进理论与技术。内容较丰富, 文、图、表并举, 富有实用性。

本书可供建筑、铁道、桥梁、化工、重型机器制造以及国防工业领域的焊接技术人员及大专院校焊接专业师生阅读。

焊 接 工 程 学

曾 乐 著

新时代出版社出版 新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 16印张 363千字

1986年6月第1版 1986年6月北京第1次印刷

印数: 0001—5500册

统一书号: 15241·74 定价: 4.90元

科技新书目 121-80

前 言

焊接工程学是一门综合性的学科，应用性较强。它能为焊接工程结构的现代化提供系统的概念，以便使整个工程结构的质量不断地提高。它综合了焊接技术中有发展前途的、能产生实效的研究成果与焊接工程设计、制造、安装及使用中的经验。同时，它又是以具体的工程结构物作为具体对象的。因此，它将焊接结构设计、焊接材料、焊接设备（包括切割设备）、焊接工艺、焊接检验互相密切地联系起来，作为一个系统来研究，以求取得最佳的经济效益。

在焊接结构的设计中，选材是一个极其重要的环节。它除了应满足具体的工作条件下的多方面性能要求以外，还必须满足焊接性的要求。这对保证整个焊接结构在使用中的可靠性（特别是现代大型的或造价极高的焊接工程结构）来说极为重要。本书首先论述了这一题目。

不论是来自研究成果或来自工程实践的经验，都应力求以工程计算的近似方法，求出数值来加以表达。以便于在分析、比较及评定时，有一个比较明确的量的概念，这是焊接工程技术人员所迫切希望的。本书在这方面做了某些尝试。

在一些关键问题上，作者广泛地介绍了德意志联邦共和国、德意志民主共和国、日本、美国、意大利、捷克斯洛伐克及印度等国的有参考价值的成果，而在这些方面不同程度上都曾由作者在实际应用中做过验证。

本书所介绍的有关焊接工程学的概念，是作者三十多年的科研与工程实践的经验总结。特别是近年来有幸参加上海宝山钢铁厂的建设，得以进一步充实和提高，也为写作本书创造了条件。希望本书能对我国当前从事焊接工程的工程技术人员以及即将走上工作岗位的焊接专业大学生及专业学校的学生有所帮助。

目 录

第一章 通用及特殊焊接结构用钢质量等级的选择, 选择的理论及工程计算方法

§ 1 概论	1
§ 2 G. 毕勒 (Bierett) 与 K. 克吕佩 (Kloeppe) 的理论基础	1
§ 3 西德 DAST-009 技术准则——焊接钢结构钢材质量等级的选择方法 (1973.4)	11
3.1 前言	11
3.2 使用范围	12
3.3 影响因素及其含意	12
3.4 钢材材质等级的确定	14
§ 4 东德 TGL-12910 技术标准——焊接钢结构钢材材质选择方法 (摘要) (1975. 3)	15
§ 5 考虑层状撕裂在材质上的附加要求与技术准则	18
§ 6 建立我国焊接钢结构钢材质量等级选择规定的建议与经验	21
6.1 作者建议	21
6.2 工程经验简述	24
§ 7 典型的钢材质量等级选择工程实例	27
7.1 重型吊车梁	27
7.2 大型球形贮气罐	29
7.3 工程问题处理	30
§ 8 新一代可焊钢	31
8.1 新一代可焊钢的冶炼工艺	32
8.2 新一代可焊钢的浇注	32
8.3 新一代可焊钢的热轧	32
8.4 日本提出修正的碳当量计算公式及当量冷裂纹倾向性等值概念	32
8.5 抗层状撕裂用厚板与特厚板	34
8.6 日本易焊低合金高强度钢实例	34
§ 9 佩里尼 (Pellini) 断裂分析理论——高强度钢及特厚板的质量等级选择	37
9.1 佩里尼 (Pellini) 断裂分析理论的发展	37
9.2 NDT 温度概念在高强度钢上的应用	42
9.3 特厚板的脆性转变特征	44
9.4 包括特厚板在内的断裂分析图及其工程应用	45
参考文献	47

第二章 现代焊接钢结构的合理节点与构造

§ 1 概论	48
§ 2 无节点板的节点构造	48

§ 3 传力合理化节点	56
§ 4 节点的加强构造	59
§ 5 H型钢的空间连接节点	62
§ 6 工地安装焊接接头构造	64
§ 7 局部焊透贴角焊缝的采用	71
§ 8 在构造上考虑层状撕裂的原则	74
参考文献	75

第三章 重型机械制造中的全焊钢结构

§ 1 概述	76
§ 2 全焊结构的主要优点	76
§ 3 由铸铁结构改成全焊钢结构, 在断面选择上应注意的问题	76
§ 4 焊接构造上应注意的问题	80
§ 5 板厚的选择及加筋问题	82
§ 6 材质方面的选择 (包括焊条)	83
§ 7 焊后热处理	85
§ 8 大型齿轮的焊接构造	85
§ 9 全焊斜齿啮合正齿轮的轮体设计计算	87
§ 10 减速箱体构造	90
§ 11 几个实例	91
参考文献	92

第四章 焊接结构的变形与拘束应力的数值概念及其应用

§ 1 概述	93
§ 2 焊接变形的数值概念	93
2.1 普通低碳钢及低合金钢对接接头的横向收缩数据	93
2.2 铝镁合金对接接头的横向收缩数据	96
2.3 1Cr18Ni9不锈钢对接接头的横向收缩数据	96
2.4 普通低碳钢及低合金钢对接接头的角变形数值	97
2.5 普通低碳钢及低合金钢贴角焊缝及其接头的横向收缩数值	98
2.6 普通低碳钢及低合金钢贴角焊接接头的角变形数值	99
2.7 焊接接头的纵向收缩数值	101
2.8 熔嘴电渣焊焊接接头的变形数值	103
§ 3 焊接应力的数值概念	104
3.1 纵向收缩应力 P_s 的经验数值	104
3.2 刚性固定条件下, 对接接头的拘束应力数值	105
3.3 刚性固定条件下, 对接接头的弯曲拘束力	105
3.4 对接接头的横向拘束应力数值	106
3.5 在拘束状态下, 夹持间距对于对接接头的拘束应力影响的数值关系	107
3.6 罗班纳克 (Roebenack) 的拘束应力理论	107

§ 4 收缩裂纹的预防措施实例——多腹壁式全焊梁刚性节点收缩裂纹预防的工程计算	109
§ 5 大型焊接钢结构实物焊接收缩变形实测数据	120
参考文献	122

第五章 焊接低合金钢最佳工艺参数选择的工程计算方法

§ 1 概述	123
§ 2 控制 $t_{8/5}$ 值的工程计算理论与应用原则	125
2.1 通过 $t_{8/5}$ 以达科学地选择最佳工艺参数的指导原则	125
2.2 $t_{8/5}$ 对几种钢种的焊接接头熔合线处韧性的影响	126
2.3 几种高强度可焊钢的 $t_{8/5}$ 工程计算	130
2.4 在 $t_{8/5}$ 计算中对焊接接头机械性能的综合分析	133
2.5 在 $t_{8/5}$ 计算中决定施焊温度 T_0 的原则	136
2.6 通过 $t_{8/5}$ 选择合适的焊接工艺参数的举例	136
§ 3 实际工程中的 $t_{8/5}$ 计算与运用于保证工程质量方面的实例	139
3.1 分析低合金高强度钢制球形贮气罐焊缝产生冷裂纹原因的应用	139
3.2 西德Demag的 300 吨起重能力的自行式吊车吊杆修复焊接中焊接工艺参数的选择	144
3.3 4060米 ³ 大型高炉炉壳厚板环缝不产生表面冷裂纹的 $t_{8/5}$ 核算实例	146
§ 4 采取后热代替焊前预热的可能性	147
参考文献	150

第六章 气割——在焊接工程中的地位、基本理论、应用与发展

§ 1 概述	151
§ 2 气割过程的新概念	152
2.1 气割过程中, 铁在纯氧中的燃烧	152
2.2 气割过程中的温度分布	153
2.3 气割面的增碳	153
2.4 沿切割方向的切割过程	154
2.5 沿板厚方向的切割过程	154
2.6 气割面波纹的形成原因	155
2.7 气割面一些合金元素的增减	157
§ 3 气割面的质量	158
3.1 气割面质量评定的项目及意义	158
3.2 气割面质量标准样板	158
§ 4 几种新的实用气割工艺	160
4.1 轻便半自动切割机的采用	160
4.2 高效切割	162
4.3 J 型坡口的切割	163
参考文献	164

第七章 轻便高效的焊接辅助机具

§ 1 概述	165
--------------	-----

§ 2 角向高速砂轮机	165
§ 3 打渣气动工具	168
§ 4 高效碳弧气刨枪	171
§ 5 大型电热焊条保温筒	171
§ 6 多用焊缝量尺	172
§ 7 焊接电缆快速接头	175
§ 8 气割喷嘴通针	175
§ 9 预热用排嘴燃烧器	176
参考文献	176

第八章 几种高效焊接工艺及其应用

§ 1 概述	177
§ 2 CO ₂ 保护粉芯焊丝强迫成形自动立焊 (EG法)	178
§ 3 轻便电渣焊工艺 (SES 法及 KES 法)	181
§ 4 自保护粉芯焊丝的半自动与自动焊工艺	189
§ 5 埋弧自动焊工艺	199
§ 6 多丝埋弧焊	201
§ 7 实芯焊丝 CO ₂ 气体保护焊	202
参考文献	206

第九章 现代焊接钢结构制造的流水作业合理化

§ 1 概述	207
§ 2 全焊H型钢流水作业线	207
2.1 H型钢的经济性	207
2.2 轻型H型钢的高频电阻焊生产流水作业	208
2.3 埋弧焊生产大型H型钢的流水作业	210
§ 3 化工管道焊接流水生产作业	214
§ 4 非标准产品的包装作业	216
参考文献	217

第十章 现代焊接钢结构的工地安装与焊接的工艺方案及实施

§ 1 概述	218
§ 2 起重设备能力的考虑	218
§ 3 安装方案的考虑	223

第十一章 焊接工程的全面质量管理

§ 1 概述	229
§ 2 按工序填写并签证的质量检查报告与返修	230
§ 3 建立焊接材料管理中心	233

§ 4 建立气体管理中心	234
§ 5 有关质量标准	235
5.1 气割面按气割面质量标准样板的评定	235
5.2 气割线允许偏差	236
5.3 焊接H型钢的质量标准	236
5.4 普通焊接钢结构组装前各工序的质量标准	238
5.5 普通焊接钢结构焊缝外观检查质量标准	239
5.6 铝与铝合金结构焊缝自由尺寸外观检查质量标准	239
§ 6 关于无损检验	241
6.1 概述	241
6.2 目前存在的一些问题	241
6.3 磁粉探伤技术的新仪器与技术	242
6.4 超声波探伤中的AVG曲线及西德USIP-11型超声波探伤仪中的AVG刻度板新技术	243
参考文献	245

第一章 通用及特殊焊接结构用钢质量等级的选择, 选择的理论及工程计算方法

§ 1 概 论

焊接结构设计是实现整个焊接工程的首道工序, 而焊接钢结构用钢质量等级的合理选择则是焊接钢结构设计中的重要环节。不论是通用焊接结构用钢还是特殊焊接结构用钢质量等级的选择, 其根本的目的是在于确保焊接钢结构有足够的抗脆断安全度, 同时力争有较好的技术经济指标。为了使得这一目标能付诸实现, 就有必要建立焊接钢结构用钢质量等级的一套科学的工程计算方法。其基础则是焊接钢结构的脆断研究工作的成果与工程脆断的经验, 二者缺一不可^{〔1〕}。

由于焊接钢结构的脆性破坏除了与钢材的本质有密切关系外, 还与结构的工作条件、焊接设计中的内应力集中程度、外加载荷的状况、制造与安装的焊接质量有不可分割的联系。因此, 要制订一套理想的工程计算方法是很困难的。但众多国家都力图尽快地解决这一问题, 即便是粗一点的 (但要明确), 也比没有要好得多, 至少不致于出现不能容忍的灾难性事故。英国的 G. L. 阿切 (Archer) 批评已有的避免脆断的措施存在着急待解决的问题, 他写道: “不幸的是, 许多设计规程中虽然不少提到如何避免结构脆断的问题, 但是有的却是相互矛盾”^{〔2〕}。我国的有关各个行业的有关设计规范中也有同样的情况。

建立一套焊接用钢的质量等级的选择方法, 尤其是工程计算方法, 不可能不牵涉到钢的冶炼、轧制、热处理、尺寸精度等等方面的问题。忽略了这些而仅致力于单纯地脆断基础实验与研究, 显然不能为建立工程计算方法提供全面的理论依据。更为关键的问题应在于促进钢的冶炼、轧制、热处理的技术发展及钢材质量的提高, 为开发高质量、多品种的焊接用钢提供全面的理论依据, 同时, 逐步发展焊接工程结构防止脆断的应用理论。

本章中的 § 2、§ 3、§ 4、§ 5、§ 6 介绍了运用统计、经验及实验三者结合的方式, 制订通用焊接结构用钢质量等级的工程应用选择方法。此方法适用于在拉应力作用下, 板厚 ≤ 50 毫米的情况。此法并不用于取代焊接结构抗脆断方面的专业知识, 但却全面地包括了炼钢学、轧钢学、影响焊接结构脆断的有关其他不可忽略的诸因素。

在本章最后一节中, 结合新一代易焊结构钢的发展试论美国佩里尼 (Pellini) 的脆断理论的应用可靠性。它对解决厚度 50~300 毫米可焊专用钢 (高强度低合金钢、低温用钢、高温用钢以及其他物理性能要求用钢, 如抗辐射、抗氢等等) 的质量等级选择有效。

§ 2 G. 毕勒 (Bierett) 与 K. 克吕佩 (Kloepfel) 的理论基础^{〔3〕}、^{〔4〕}

德国的 G. 毕勒与 K. 克吕佩在 50 年代中期到 60 年代初期, 分析与总结了通用焊接结构在实际使用中的脆断事故, 收集了钢厂在生产钢材过程中的科学试验数据, 首先在联邦德国提出了焊接结构用钢的钢材质量等级选择的工程计算理论与建议^{〔3〕}、^{〔4〕}。他们的

建议虽然在具体运算方法上有些差异,但在计算结果上是基本一致的。因此,通过几年的试用,于1973年由原来的草案正式转成德国钢结构学会(DAST)[●]的正式规定,即DAST-009号技术准则,名称是“焊接钢结构钢材质量等级的选择方法”。民主德国相继于1975年颁布了TGL-12910技术准则,即“焊接钢结构钢材质量选择方法”,它比DAST-009增加了两项因素,即疲劳脆断与加荷速度,这些技术指导文件的出现,消灭了该国的焊接钢结构设计人员在钢材质量级别选择方面的混乱状况,同时,还促进了钢厂进一步提高焊接用钢的质量。

作者用图1-1的方框图来归纳毕勒与克吕佩的钢材质量等级概念。这个概念明确地反映了对任何一个具体焊接结构的钢材质量等级的选择,必须从整个构造来考虑,并针对具体的结构状况,提出钢材的抗脆断质量指标评定数值,这个数值应与钢厂所能提供的质量级别相匹配。

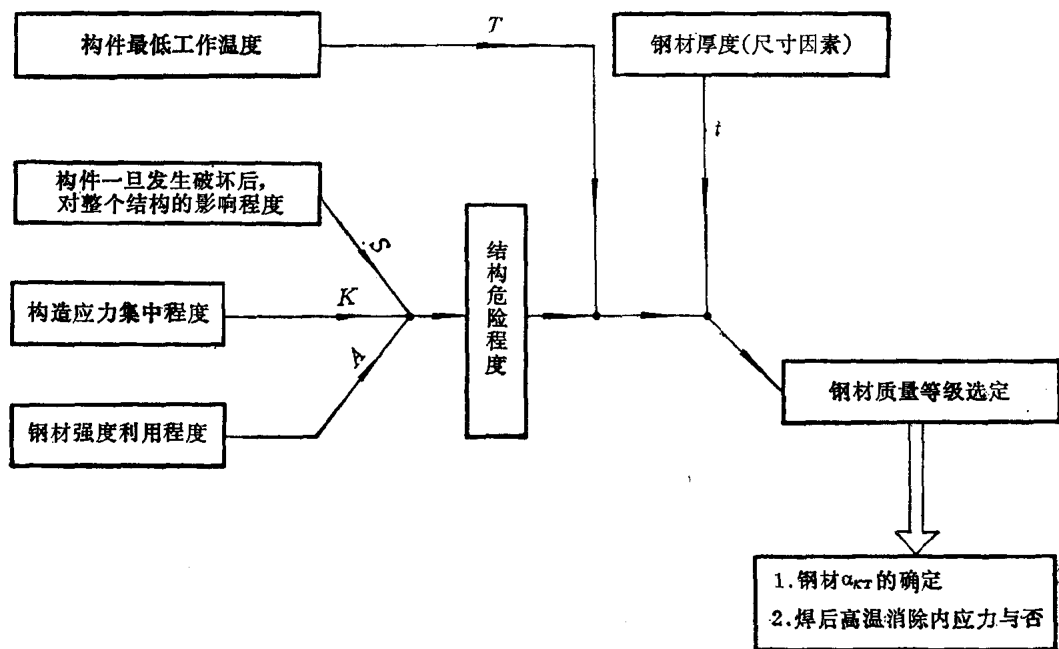


图1-1 毕勒与克吕佩概念方框图

兹将毕勒对于脆断危险性与温度、材质及板厚之间关系的分析叙述如下。

从焊接钢结构的典型脆断事故的分析中,人们公认,温度以及较大的部件厚度是与脆断有密切关系的两个因素。甚至于质量最好的结构用钢,都离不开这样一个规律,即脆化危险性随着温度负值的增加而增加。钢材的不同质量等级,主要反映在抗脆断的能力上面。但是,同一质量等级的钢材,在制造成构件之后,不同的构件形式,其抗脆断能力仍然不同。因此,对构件而言,其变脆的温度范围并非常数,而受到具体构造的应力状态(包括外应力与内应力的大小与分布)的极大影响。

一般焊接钢结构、工程应用的通用低强度钢(承受低温和高温介质作用的结构与中、高及超高强度钢不属于此范围)把 $+60^{\circ}\text{C}$ 及 -60°C 分别作为最高与最低工作温度。显然,

● Deutsche Ausschüß fuer Stahlbau.

对通用的焊接结构用钢来说, 选用 $+60^{\circ}\text{C}$ 而不用 $+50^{\circ}\text{C}$, 更多是出于工程计算的方便。这样, 就假设 $+60^{\circ}\text{C}$ 是不脆化温度, 随着温度下降, 脆化程度增大, 到了 -60°C , 把它作为绝对脆化温度来考虑, 这可用图 1-2 中的 $\cos$ 曲线来表达。

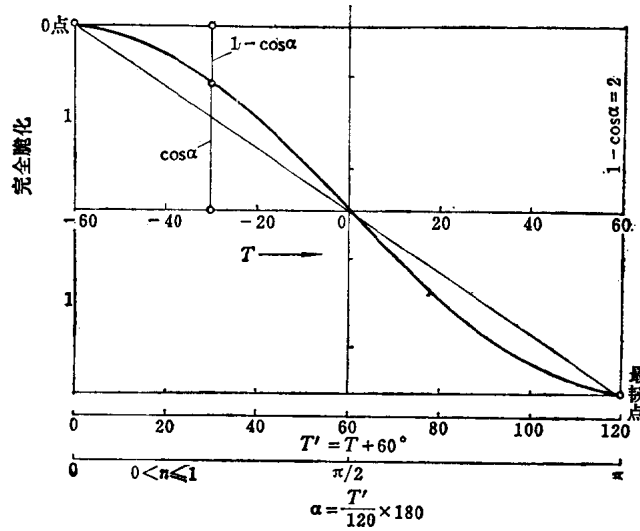


图1-2 构件的脆化与温度的关系

-60°C 作为绝对脆化的零点, 则脆化的减弱沿 $\cos$ 曲线中的 $1 - \cos \alpha$ 变化, 到了 $+60^{\circ}\text{C}$, 达最大值为 2。将温度 T 与三角函数联系起来, 则 α 与 T 的关系见 (1-1) 式, T' 见 (1-2) 式。

$$\alpha = \frac{T + 60^{\circ}}{120} \times 180 \quad (1-1)$$

$$T' = T + 60^{\circ} \quad (1-2)$$

不同板厚随温度的降低而呈脆断的倾向, 见图 1-3 的假设。

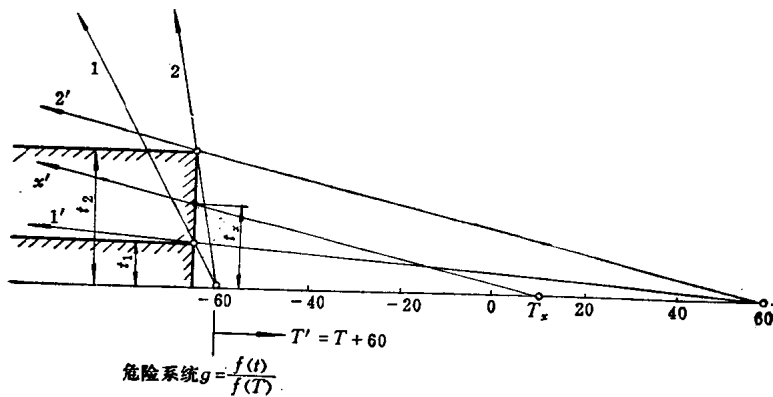


图1-3 不同板厚脆化倾向与温度关系假设

图 1-3 的横坐标是温度 (-60°C 至 $+60^{\circ}\text{C}$), 纵坐标是板厚。在绝对脆化温度 -60°C 时, 不论板厚或板薄, 皆脆化, 用斜线 1 及 2 表示, 这时斜率较大。在 $+60^{\circ}\text{C}$ 这一不脆

化温度时, 则当板厚达最大值 t_2 时, 仍有一定的抗脆断能力, 见斜线 1' 与 2', 这是两种极端情况。当板厚为 t_x 时, 若其抗脆断能力与 t_2 相当, 则构件在使用温度 T_x 条件下, 也没有脆断的危险。

根据上述假设条件, 引入危险系数 g 。它仅与板厚及温度有关

$$g = \frac{f(t)}{f(T)} \quad (1-3)$$

若按照图 1-2 的坐标零点位移, 则

$$g = \frac{f(t)}{f(T')} \quad (1-4)$$

由 $f(T') = 1 - \cos \alpha$ 得

$$g = \frac{f(t)}{1 - \cos \alpha} \quad (1-5)$$

瑞士的 H. M. 许纳特 (Schnadt) 认为, 以焊道弯曲试验中归纳出的脆化与板厚的关系, 是与板厚的平方成正比^[8]。但对于构件, 许纳特认为, 构件脆化与板厚的一次方成正比, 即呈线性关系^[8]。

毕勒认为, 若构件的脆化与板厚 t 采用线性关系, 则在下一步的钢材质量等级划分时, 会使分级太细, 以致与钢厂的质量级别难以匹配。因此, 毕勒建议

$$f(t) = t^n; \quad 0 < n < 1 \quad (1-6)$$

考虑到多数国家对通用焊接钢结构用低强度钢的板厚上限情况, 把板厚定在 50 毫米以下, $n = 0.8$ 是合适的。当板厚超过 50 毫米, 则应另行考虑。因此, 将 (1-5) 式成为

$$g = \frac{t^{0.8}}{1 - \cos \alpha} = \frac{t^{0.8}}{1 - \cos \frac{T + 60}{120} \times 180} \quad (1-7)$$

将公式 (1-7) 绘成立体透视图形, 见图 1-4。

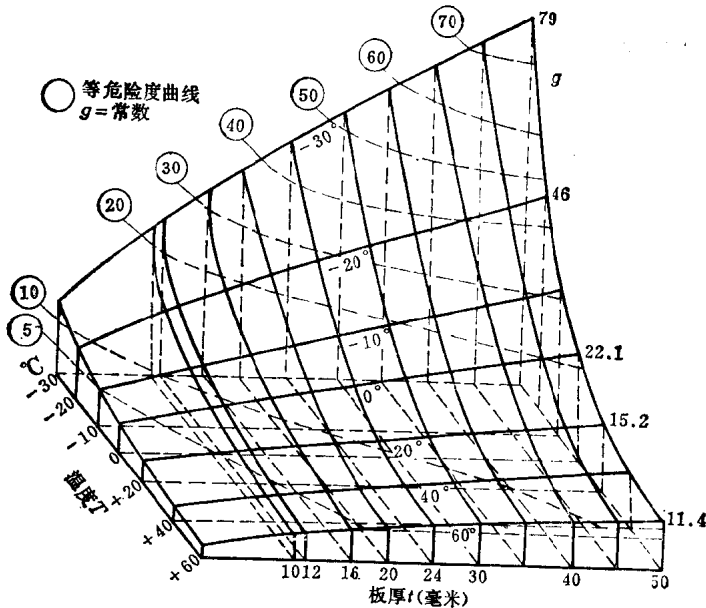


图1-4 $g = f(t)/j(T)$

由图 1-4 可以看出，在等危险系数曲线上，板愈厚，其允许的使用温度也愈高。
在构件的使用温度问题上面，毕勒考虑了分级的办法。表 1-1 就是毕勒根据钢结构设计规程提出的建议。

表1-1 通用结构、构件温度划分建议

温度等级	结构、构件的使用温度条件
- 30°C	特别寒冷地区的外部结构
- 20°C	在较寒冷地区的外部结构及内部结构
0°C	较暖地区的外部结构 无暖气及大门的内部结构 压力管道 特殊结构，不经常在 0°C 以下工作
≥20°C	热带地区的外部结构 办公大楼的内部结构及有采暖设备的结构 经常在高温状态下工作的结构，如高炉炉壳

在对构件的使用温度分级之后，还要把构件的构造划分成几类，其分类是以焊接残余内应力的集中状况为依据的。

A类：简单的焊接构件，在构件上面没有纵向焊缝，没有角焊缝也没有横向对接焊缝，或只有纵向焊缝，而且这焊缝远离切割边缘。

B类：带有通长的、与主应力方向相同的焊缝，以及焊缝处于断面急剧变化处。在一般焊接构件中，指有通长角焊缝，而且有横向对接焊缝的焊接构件。

C类：由工作载荷在焊缝上面产生二维拉应力、还包括带有交叉焊缝的构件，有较高的纵向及横向应力。

针对这三类构件，确定其相应的构造系数K值。在某一质量等级的钢材时，

$$K_c = \frac{t_c^n}{t_a^n}$$

(1-8)

式中 t_a ——最简单的构造类别条件下构件的最大板厚；

t_c ——应力最集中的构造类别条件下构件的最小板厚。

结构的构造系数按构造的 A、B、C 分别为 K_a 、 K_b 、 K_c ，其中

$$K_a = 1$$

$$K_b = 1.4$$

$$K_c = 2$$

这些数值的确定将在后面讨论。

关于构件在断裂时对整个结构所造成的危害，毕勒也划分了类别（联邦德国焊接学会第17工作组的建议）。他把某一构件在断裂时对整个结构所造成的危害程度分成三级，设危害系数 S_I 、 S_{II} 及 S_{III} 。危害最轻时， $S_I = 0.5$ ；中等程度时， $S_{II} = 0.7$ ；最严重时， $S_{III} = 1$ 。

$$S_I = \frac{t_I^n}{t_1^n}$$

(1-9)

式中 t_1 ——在 I 类危害情况下的最大板厚；

t_1 ——在Ⅰ类危害情况下的最大板厚；

t_2 ——在Ⅱ类危害情况下的最大板厚。

上述 S_1 、 S_2 及 S_3 的前题，与构造系数一样，皆是在某一钢材质量等级条件下。

下面介绍 K 值与 S 值的选定依据。

毕勒对于 K 值与 S 值的选定见图 1-5。

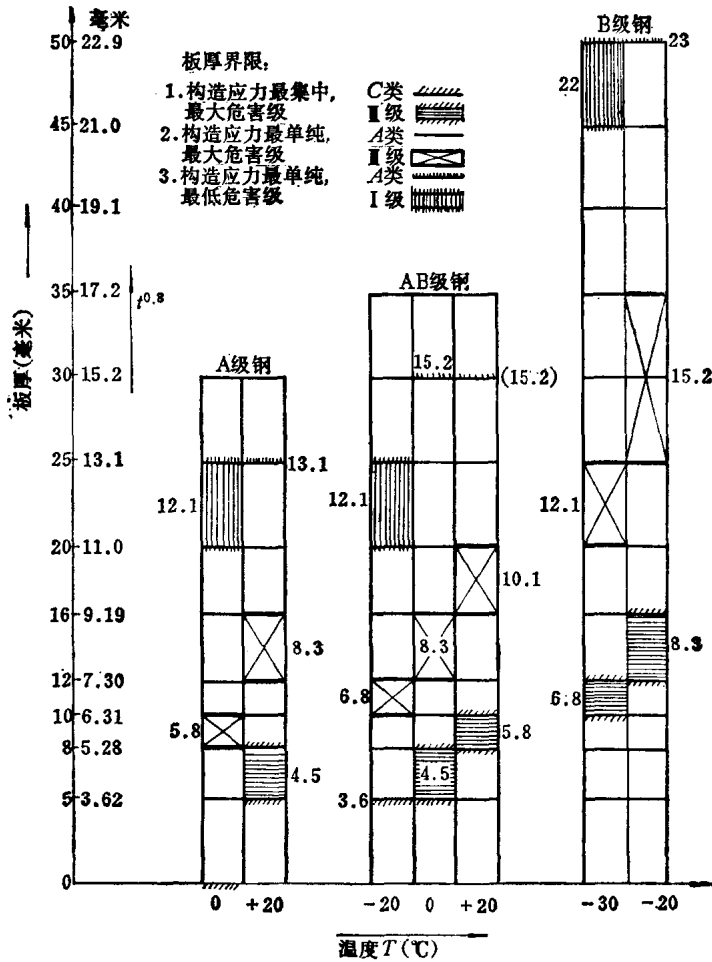


图1-5 K 与 S 值的选定

图 1-5 是根据工程使用经验与科学实验的成果结合制订的。在钢材的质量等级方面，暂分三级， A 级最差， AB 级质量高些， B 级为质量较高的钢材。由图 1-5 可进一步求出构造系数 K 值 ($K_c = t_c^2/t_a^2$) 及危害系数 S 值 ($S_1 = t_1^2/t_a^2$)，见表 1-2。

由表 1-2 可以看出，在计算 K 及 S 值时，选用 $t^{0.8}$ 或 t^1 计算，对 K 及 S 的影响皆不大。因此，用 $t^{0.8}$ 来计算构件的脆化与板厚的关系并不违背许纳特的结论，而又便于钢材质量等级的划分。从表中还可以看出，不论 K 或 S ，其比值皆接近于 2，只是个别中厚板，其值小于 2。这样，就可以假设应力最集中的构造系数 $K_c = 2$ ，则 $K_a = 1$ 。为便于计算，取 $S_1 = 1$ ，以便使 $K_a S_1 = 1$ ，由于 S_1 与 S_2 比值是 2，故 $S_2 = 0.5$ ，见表 1-3。

表1-2 构造系数 K 及危害系数 S

	钢等 材 质 量 级	温 度 T ℃	板 厚 的 对 比												
			$t^{0.8}$ (毫米)							t^1 (毫米)					
			平均值	上、下范围			比值	平均值	上、下范围			比值			
				U : 下限					U : 下限						
				O : 上限					O : 上限						
构造系数 K 《C类与A 类对比》	A	0	A级钢不得用于C类												
		20	4.5	8.3	U O	3.6 5.8	7.3 9.2	~2.0	6.5	14	U O	5 8	12 16	~2.0	
	AB	-20	3.6	6.8	U O	— —	— 7.3	~2.0	5	11	U O	— —	— 12	~2.0	
		0	4.5	8.3	U O	3.6 5.8	7.3 9.2	~2.0	6.5	14	U O	5 8	12 16	~2.0	
		20	5.8	10.1	U O	5.8 6.3	9.2 11.0	~2.0	9	18	U O	8 10	16 20	~2.0	
	B	-30	6.8	12.1	U O	6.3 7.3	11.0 13.1	约 ≤2.0	11	22.5	U O	10 12	20 25	~2.0	
		-23	8.3	15.2	U O	7.3 9.2	13.1 17.2	~2.0	14	30	U O	12 16	25 35	~2.0	
	危害系数 S 《A类的Ⅲ 与Ⅰ级对比》	A	0	5.8	12.1	U O	5.8 8.3	11.0 13.1	~2.0	9	22.5	U O	8 10	20 25	2.5
			20	8.3	13.1	U O	7.3 —	— —	约 ≤2.0	6.5	14	U O	5 8	12 16	~2.0
		AB	-20	6.8	12.1	U O	6.3 7.3	11.0 13.1	~2.0	11	22.5	U O	10 12	20 25	~2.0
0			8.3	15.2	U O	7.3 —	— —	~2.0	14	30	U O	12 —	— —	~2.0	
20			10.1	(15.2)	U O	9.2 —	— —	≤2.0	18	30	U O	16 —	— —	≤2.0	
B		-30	12.1	22.0	U O	11.0 15.1	21.0 22.9	~2.0	22.5	47	U O	20 25	45 50	~2.0	
		-20	15.2	(23.0)	U O	13.1 —	— —	≤2.0	30	【(50)】	U O	25 —	— —	约 ≤2.0	

表1-3 选定的 K 与 S 值

构造类别	系 数	危害程度	系 数
C	$K_c = 2$	Ⅲ	$S_{Ⅲ} = 1$
A	$K_a = 1$	Ⅰ	$S_{Ⅰ} = 0.5$

由此, K 与 S 的综合数值选定见表1-4。

表1-4是在确定了 K 与 S 的上下限之后, 确定出其中间级别数值, 即 K_b 与 $S_{Ⅰ}$ 。为便于计算起见, 取 $KS=1.4$, 则 $K_b=1.4$, $S_{Ⅰ}=0.7$ 。

下面再引入由外加载荷而产生的强度利用系数 A 。设计时的计算应力为 σ , 许用应力为 $\sigma_{[zul]}$, 则

表1-4 K及S的综合数值

构造类别	应力集中 程 度	K值	危害程度级别S值			KS值		
			I 小	II 中等	III 大	I	II	III
A	轻度	1.0	0.5	0.7	1.0	0.5	0.7	1.0
B	中等	1.4				0.7	1.0	1.4
C	严重	2.0				1.0	1.4	2.0

$$\frac{\sigma}{\sigma_{[zul]}} > 0.7, \text{ 则 } A = 1$$
$$\frac{\sigma}{\sigma_{[zul]}} \leq 0.7, \text{ 则 } A = 0.7$$
$$\frac{\sigma}{\sigma_{[zul]}} \leq 0.5, \text{ 则 } A = 0.5$$

对K、A、S加以综合考虑，并具体化于表 1-5 中。

表1-5 KSA值的选定

KS	KSA, 当 A =		说 明
	0.7	0.5	
2.0	1.4	1.0	最简单条件下, KSA<0.5 一般就按KSA=0.5处理
1.4	1.0	0.7	
1.0	0.7	0.5	
0.7	0.5	<0.5	
0.5	<0.5	<0.5	

在实际设计当中， $\sigma/\sigma_{[zul]} > 0.7$ 属多数，这时 $A = 1$ 。取A值的另外两个数值，即0.7与0.5，是为了便于计算。

在确定了K、S及A值后，毕勒最后引出危险指数G值（即脆断危险指数）：

$$G = gKSA \tag{1-10}$$

式中 g ——由温度与板厚决定的危险系数；

$K、S、A$ ——与构造有关的系数。

显然，为确保结构安全工作，必须与所选用的钢材材质等级联系起来

$$G \leq C_{II} \tag{1-11}$$

式中 C_{II} ——某一质量等级的钢材在不同的板厚条件下的脆断倾向指标。根据钢厂对不同质量等级的钢材进行的实验与使用经验，以及工程脆断后的复验工作，又根据不同的结构、工作温度及板厚而得出 $t^{0.8}$ 值。按钢材不同质量等级，选定不同的 C_{II} 值。当把钢材质量等级划分成A、B、C、D四个级别时，则相应的 C_{II} 值为

$$C_A = 10$$
$$C_B = 50$$
$$C_C = 100$$
$$C_D = 120$$

板厚增大时，C值应比上述限值有所降低。