

管道弹性与强度

管道及其零件的静力计算

H·v·尤根生 著

張洪瀛 譯

中国工业出版社

本书系西德工程师尤根生德文原著“管道弹性与强度”(第二次修订版)的中译本。全书共分三篇,分别阐述管道强度计算、管道弹性计算及法兰与法兰连接计算。本书理论与实际并重,所介绍的各种计算方法及其比较,具有一定的实用价值。本书可供电厂管道设计人员、管道安装与运行工程技术人员、科研人员以及大专学校有关专业的教师和学生阅读参考。

H. v. Jürgensonn
**ELASTIZITÄT UND FESTIGKEIT IM
ROHRLEITUNGSBAU**
STATISCHE BERECHNUNG DER ROHRLEITUNGEN
UND IHRER EINZELTEILE
zweite neubearbeitete auflage
SPRINGER-VERLAG, BERLIN/GÖTTINGEN/HEIDELBERG
1953

* * *
管道弹性与强度
管道及其零件的静力计算
張 洪 瀛 譯

*
水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南书房)
中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)
北京市书刊出版业营业许可证出字第110号
中国工业出版社第一印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*
开本787×1092¹/₁₆·印张18·字数405,000
1964年12月北京第一版·1964年12月北京第一次印刷
印数0001—4,590·定价(科七)2.70元

*
统一书号: 15165·3128(水电-427)

再 版 序 言

尽管战争初告结束以后，随着工业的迅速恢复，已经迫切需要这样一本书，但遗憾的是，早应再版的本书，却由于种种原因，直到今天才告完成。当然，拥有更大读者面的“管道手册”第四修订版的工作，应当优先予以考虑。除此以外，由于著者长期在国外工作以及工作上的繁忙也妨碍了本书的再版。

本书再版时，将有关熟知的材料力学的基本概念以及各种理论演述的若干次要章节，作了重要的删略。这样就可能有更多的篇幅来叙述新近出现的问题，例如在高温下与时间有关的材料强度性质，考虑了全部或局部出现塑性变形的厚壁管中的应力状态，以及有关支管段计算的形状因素等等。在各方面的要求下，还增添了一节有关空间倾斜管系的计算，并通过一个完整的计算例题加以阐明。其余各章节本版仍保持原状。

斯普令(Springer)出版社允许本书再版，并热情的满足了著者的愿望，特致以谢意。

И. в. 尤根生

1953年3月于杜塞道夫

第一版序言(节录)

由于近年来高压管道的极其迅速发展，以及所有专业人员，特别是工程技术人员的迫切需要，使人感到，缺乏一本管道及其零件的静力计算方面的综合性著作，是一个特别明显的缺陷。随着管道运行压力与温度的不断增高，管道弹性的正确知识就愈为重要。在这方面出现的问题，有一部分是多方面的，而且范围又如此广泛，以致现场工程师依靠自己来提供所需要的计算基础，一般是很少有时间。

“来自实际，用于实际”是本书编写的指导思想。因此，本书首先是为从事管道设计与安装的工程师服务的。由于这一原因，在资料处理方面只注意了必要的理论演述。主要重点着眼于：选择那些需要最少的时间与劳动并具有最准确结果的计算方法，并加以演述。同时，把计算工作纳入一定的规范，而要求计算者付出最少的思考与注意，也是重要的。

为此，还尽可能的作出了曲线图表。用许多计算例题阐明了所述方法的实际应用。

完全不涉及计算方法的理论方面是不适当的。因为那样会有碍于对其内部关系的理解，且难以判断各种方法的适用范围与准确程度。特别是对这方面作进一步的深入钻研时，会由于理论基础的缺乏而感到困难。

还必须提到，尽管工程技术有了迅速的进展，但还有若干没有解决的问题，值得深入研究。例如建立在成熟的、合乎实际的假定上的固定法兰计算，或者有关褶皱弯管应力的正确确定，对这些方面几乎还没有在理论上可以验算的试验数据。这是有待今后研究的问题。

H. v. 尤根生

1940年10月于柏林

数字举例目录^①

例 題	項目(譯者注: NW=公称內徑。DIN=德国工业标准)	頁
1	NW300 ^② 的DIN标准管在50大气压及100°C时管壁厚度的确定	13
2	NW150高压管在80大气压及475°C时管壁厚度的确定	19
3	NW200的高压管在130大气压及535°C时管壁厚度的确定	20
4	厚壁管在600°C并有部分塑性变形情况下的应力分布	29
5	带支管NW200的主管NW300的計算	36
6	管壁中的热应力	37
7	两端具有鉸鏈式固定的 Z 形弧管	60
8	一端嵌固、一端鉸鏈固定的 Z 形弧管	64
9	用卡曼(Kármán)法計算例 7 內 Z 形弧管橫向弯曲应力	74
10	U 形管弧补偿器的补偿能力	91
11	两端嵌固的角形管弧(用曲綫表計算)	92
12	不对称 Z 形管弧, 其他条件如例11	97
13	如例 7 中的 Z 形管弧, 但要考虑弧形平率及一端嵌固的精确計算	98
14	有两个不同內徑的鵝頸管弧	103
15	用馬尔拜司(Marbec)法計算例13中的 Z 形管弧	113
16	用卡森(Cutchan)法計算例11中的角形管弧(直角弯)	122
17	用卡森(Cutchan)法計算汽輪机的連接管弧(考虑管道弯曲应力)	126
18	用米切尔(Mitchell)法計算例 7 中的管弧	135
19	用帕特(Peiter)与費师(Fish)法計算例18中的 Z 形管弧	138
20	用卡森(Cutchan)法計算具有三个固定点的綜合管系的特例	140
21	用阿拜尔(Abel)的建議計算空間管系(具有直角弯)	167
22	用著者的建議計算考虑管弧的空間管系	176
23	用卡森(Cutchan)法計算例22中的空間管系	191
24	参照米切尔(Mitchell)法計算空間管系	203
25	用米林赫夫(Müllenhoff)法計算空間管系中的傾斜弧段	205
26	各种假設中的应力总合	227
27	活动法兰中的撓度	248
28	固定法兰中的撓度	249
29	例27及例28中法兰連結的应力情况	252
30	法兰盘的热应力	269
31	法兰連結的使用期限	272

① 編者注: 原书目录內項目与正文不完全一致, 仍旧, 未予改动。

② 譯者注: 原文表內为NW200, 系NW300之誤。

表 格 目 录^①

表 序	项 目	頁
1	缺口冲击韧度	6
2	管道鋼材在短時間試驗中的性质	8
3	管道鋼材在長時間試驗中的性质	9
4	材料参数及安全系数	20
5	厚壁管道承受內压力时的蠕变应力計算表	30
6	在分路管頸上量出的最大伸长率	35
7	具有直角弯管及鉸鏈固定点的平面管系的反作用力与弯曲应力	58
8	图76內任意管弧的慣性矩与慣性积的綜合表	78
9	平面管系中管弧与平直部分的慣性矩、慣性积及靜矩(著者建議)	82
10	一端嵌固直管在不同受力情况下的公式	120
11	在直角管系中管弧的一般受力情况	156
12	在斜角管系中管弧的受力情况	158
13	阿拜尔(Abel)对空間管系提出的系数	161
14	著者对空間管系提出的計算公式表	173
15	力矩与作用面的分布	184
16	平面管系及空間管系的受力情况表	189
17	米林赫夫(Müllenhoff)积分表	206
18	积分求值	215
19	米林赫夫(Müllenhoff)公式一覽表	217
20	例25彈性公式中的各个系数	218
21	用高斯(Gauss)計算术运算法解彈性公式	219
22	表21中各項系数的計算	219
23	管子中出現的各种应力一覽表	226
24	按照西拜尔(Siebel)与史卫盖尔(Schwaigerer)計算方法的許可运行压力(VGB)	238
25	法兰鋼与鑄鋼的性质	241
26	螺栓鋼与螺母鋼的性质	241
27	在良好保溫情况下法兰連結中的溫度分布	242
28	DIN11威氏(Whitworth)螺紋的剛度	245
29	馬杜史卡(Maduschka)螺紋計算系数	257
30	DIN 11中 $\frac{3}{4}$ ~ $1\frac{7}{8}$ 螺紋的应力分布表	257
31	DIN11螺紋的弯曲应力与剪应力	258
32	垫圈系数(VGB)	265
33	垫圈材料(VGB)的变形强度	265
34	各种法兰計算結果的比較	266
35	管道横断面的慣性矩	274
36	管道横断面的慣性矩	274
37	管道横断面的慣性矩	275
38	管弧长度($R=1$)及其有关的主要积分	276

① 目录內項目名称有的与正文內略有出入，大部分仍旧，未作更改——編者。

本书常用的簡字譯如下:

DIN	德国工业标准
DVM	德国材料試驗协会
MPA	材料試驗所
NW	管子公称內徑
ND	額定压力
VDI	德国工程师协会
VGB	大鍋炉企业协会

目 录^①

再版序言	
第一版序言	
緒言	1

第一篇 管道强度計算

第一章 一般基础	2
§1. 材料力学的基本原理	2
§2. 温度与時間的影响	3
§3. 缺口冲击韌度	6
第二章 管道材料及其性质	7
§1. 普通管道鋼与合金管道鋼	7
§2. 彈性模数	10
§3. 安全系数的意义	11
第三章 压力与温度对管壁的影响	12
§1. 在简单情况下管壁厚度的确定	12
§2. 厚壁管的管壁厚度計算	15
§3. 厚壁管承受內压力时的应力分布	22
§4. 特殊情况下的管壁厚度計算(分路管段)	33
§5. 管道中热应力的影响	37
第四章 热胀及其补偿	38
§1. 一般基础	38
§2. 人工膨胀补偿	39
a) 填料函式补偿器	39
b) 波形补偿器	40
c) 金属软管补偿器	40
d) 鉸鏈式补偿器	42
e) 琴形管弧补偿器	42
§3. 自然膨胀补偿	42
§4. 热胀計算基础	44
§5. 預加应力的意义	45

第二篇 管道彈性計算

第一章 計算基础	47
§1. 管道弯矩与弯曲应力	47
§2. 管道扭矩与扭轉应力	50
第二章 平面管系的彈性計算	52
§1. 計算的基本概念	52

a) 具有鉸鏈式固定点的平面管系	53
b) 具有嵌入固定点的平面管系	60
c) 一端嵌固、一端鉸鏈固定的平面管系	63
d) 以上所有各种假定的綜合比較	65
§2. 弯曲管道的弯曲情况	66
a) 截面扁率与卡曼(Kármán)数	66
b) 卡曼(Kármán)理論对弧管上应力情况的影响	70
c) 劳倫(Lorenz)数	75
d) 弧管計算基础	76
§3. 平面管系的各种計算方法	79
a) 著者建議的計算方法	79
b) 馬尔拜司(Marbec)計算法	107
c) 卡森(M. Cutchan)与克魯克(S. Crocker)法	116
d) 米切尔(C. T. Mitchell)法	133
e) 帕特(F. Peiter)与費师(M. J. Fish)法	138
f) 特殊情况下的計算	139
g) 各种計算方法的評比	146
第三章 空間管系的弹性計算	150
§1. 計算基础	151
§2. 在空間管系中管弧的影响	153
§3. 空間管系的各种計算方法	155
a) 阿拜尔(Abel)法	155
b) 著者建議的計算方法	170
c) 卡森(M. Cutchan)与克魯克(S. Crocker)法	188
d) 米切尔(C. T. Mitchell)法	201
e) 空間傾斜管系的計算法	204
f) 空間管系各种計算方法的評比	220
第四章 弹性計算的綜合論断	220
§1. 压力与溫度的影响	221
§2. 应力綜和	222
a) 最大应力假說	222
b) 最大伸长假說	223
c) 最大剪应力假說	223
d) 变形能假說	224
e) 实际应用	225

第三篇 法兰与法兰連結計算

第一章 一般基础	228
§1. 基本結構类型	228
§2. 預应力及运行載荷	229
a) 等剛度下的受力情况	231
b) 不等剛度下的受力情况	232

§3. 密封压力	236
§4. 对法兰連結的材料选择与材料性质	238
§5. 法兰連結内部的温度分布	239
第二章 法兰連結中的弹性	243
§1. 螺栓刚度	243
§2. 螺紋刚度	244
§3. 法兰刚度	246
a) 活动法兰	246
b) 固定法兰	248
§4. 垫圈及其他零件的刚度	250
第三章 法兰連結中的应力	256
§1. 螺栓应力	256
§2. 法兰应力	260
a) 根据DIN2506及2505的計算方法	261
b) 铁木生可(Timoshenko)的建議	262
c) 西拜尔(E. Siebel)与史卫盖尔(Schwaigerer)的建議	263
d) 其他几种計算方法	264
§3. 法兰中的热应力	267
§4. 法兰連接的使用期限	269

注：原书目录与正文标题有的并不一致，中譯本照旧，基本上未作改动——編者。

緒 言

由于高温高压在管道設計中的应用，对所有出現的各种力与应力需要有确切的認識。这些力与应力，一方面是由于运行压力引起的，另一方面是由于热脹引起的。在管道设备設計中，設計者应当对每一个部件从經濟观点出发予以精密的审核，以期达到最大限度的安全运行与最低成本的目的。为此，对设备作精确的計算，是絕對需要的。

以下所討論的各项問題之所以能够得到詳盡的解釋，首先应当归功于高压工程的发展。这里，特別需要充分理解对所預期的力与应力要尽可能的作精密計算这一点，以便在尺寸与材料选择方面能够作出重要的决定。本书的目的就是要尽快的而且很可靠的达到这个目标。还有，对超过400°C的设备，即使使用DIN标准时，設計者也并没有解除作数学驗算的任务。

当然，对低温低压及中温中压管道，也照例可以使用同样的計算方法。

为了适应工业的需要，高压管道在不断的迅速发展。在其发展过程中所积累的經驗以及所进行的理論探討，使超过600°C蒸汽温度的高压设备也有可能极有成效的予以設計。当然，对于这样高的温度以及相应的高压(160大气压)的设备，只有在对每一个零件作精密的計算后，才可以在保証安全的基础上进行建造。

关于所有热蒸汽管道设备中的热脹补偿問題，要求对出現的应力与力具备极其精确的知識。因此，本书对有关这一方面的問題，占用了大量的篇幅。

由于原材料条件的限制，在設計中一向是要求節約与經濟。借助于理論知識，必須对現有材料慎重选择，并对其相应的性能尽可能予以充分利用。尽管如此，保証最大限度的运行安全是最高原則，而这也只有对设备的每一部件进行精确的計算后才有可能。

书內将对設計者說明重要的基础与計算方法。特別強調的是它們在实际中的需要这一方面，为此，在說明准确度与应用范围的情况下，将对最簡單的計算过程予以闡明。为了易于理解，对每一公式的推导当然必要，但这是在假定讀者对力学及高等数学已有初步了解的基础上作的。为了实际应用，选用了一种十分簡單、易懂的形式，即通过許多曲綫图表使之更加醒目，并且便于应用。通过計算例題对这些公式图表等的应用更易于連系。

散見于国内外的期刊論文中，常有些旨在計算管道热脹及法兰应力等的文献。不过这些都十分煩瑣并因此很少适合实际应用。本书目的首先在于推导各种計算方法，这些方法在应用方面尽可能簡便，而且具有足够的准确性。附带也談到了各种文献中討論的計算方法，并指出了計算結果中可能产生誤差的原因。在例題的选择方面，尽量使数字計算結果显示出各种方法的异同。同时，根据計算数字，可以很好的判断哪种計算方法在簡單和准确方面是最适合于实际需要。此外，对一些特別有趣且富有学习意义的数例，根据著者的实际經驗，进行了計算。

第一篇 管道强度计算

第一章 一般基础

§1. 短時間內試驗的材料参数^①

一种材料最起码的特征是它的断裂强度，亦即在几分钟内发生断裂的载荷。

断裂强度是指夹在拉伸试验机上的试件其原断面积所能承受的最高载荷。拉伸机上指出的最大载荷 P_{max} 与试件原断面积 F_0 (在加入负载的瞬间或在断裂以后自然不复存在的) 的商数即表示拉伸强度或断裂强度：

$$\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0}. \quad (1)$$

这种由拉伸试验得出的图形称为应力应变图，如图 1 所示。图中表示应变 ϵ 最初随载荷的增长而缓慢地加大，从而在这个范围内应变 ϵ 与应力 σ 成正比，即

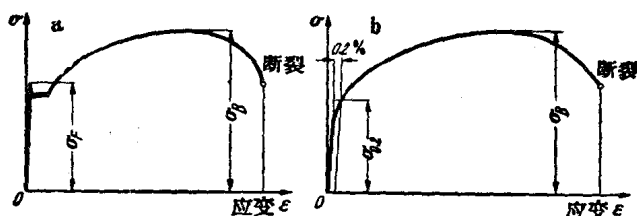


图 1a 及 b 应力应变图：(a) 具有显著的屈服极限；(b) 具有不显著的屈服极限。

(引自钢铁材料手册第二版)

$$\epsilon = \alpha \sigma. \quad (2)$$

式中 $\alpha = 1/E$ 是材料指数，普通钢材在室温情况下其值约为：

$$\alpha = 1:2150000 = 0.000000465 \text{ 厘米}^2/\text{公斤} \quad (2a)$$

这一简单关系亦称虎克定律，它在材料力学方面具有重要意义。但它只适用于一定的载荷限度内，即通常所说的比例极限。超过了这一极限应变的增长比应力要快。

从拉伸试验还可得到以下材料的特征：

(a) 伸长率，即试件在断裂后的伸长度为试件原长度的百分率。试件试验长度一般选择为直径的 5 倍。因此，在伸长率的记录中应载有 $l=5d$ 。

(b) 屈服极限，即在应变增长的情况下，材料试验机上所表示的载荷 σ_F (图 1a) 刚刚不变或者退后时的载荷 (自然屈服极限)。上屈服极限与下屈服极限的区别在于应力从上极限降落到下极限。某些材料，例如在热拉力试验情况下，其屈服极限并不明显，这样即取伸长率为 0.2% 时的应力为其屈服极限，并以 $\sigma_{0.2}$ 表示之 (伸长极限见图 1b)。

有关短時間內试验的材料参数的叙述至此为止。

① 原书该标题与目录不同，目录为“材料力学的基本原理”——译者。

在不同的零件及受力情况下，断裂强度或者屈服极限将被引作计算参数。但是这些只给出材料可能受力的不完整图形，因为还有其他因素对零件的允许的可能受力情况有着重大影响。

§2. 温度与时间的影响

温度对材料的强度性质有着重大的影响。材料的强度与屈服极限随着温度的升高而降低。图 2 表明了它们的关系。从图上可以看出，假如温度稍高一点，材料的强度性质即下降很多。

在第二章第一节中列出了普通常用钢材在各种温度下的强度性质。

但是，温度对材料强度的影响还有更大的意义。

在常温情况下钢的强度性质，可以很简单的利用拉伸试验求得。但是，如果在高温状态下，这一简单的确定方法就遇到了困难，因为在这种情况下，载荷作用时间对试验结果会发生很大的影响。在较高的温度下与在常温情况下的试验不同，在一给定的载荷作用下，不会立刻出现一定的永久变形，而变形是随着载荷的持续时间增长。这会出现所谓“蠕变”现象，从而即使在载荷较低的情况下，只要有足够长的时间，试件也会发生断裂。

与材料的“屈服”相反，蠕变只能在极其缓慢的过程中形成，而且变形速度很小，这也是蠕变现象很久以来不被重视或重视不够的原因。

金属材料的蠕变过程迄今未被全部了解，它很久以来就是一个有待进一步探讨的课题。

在一定的、导致断裂的载荷作用下所发生的蠕变过程，柏立 (R. W. Bailey)① 将其分为三个阶段。第一阶段由于材料本身初期出现的硬化性使蠕变速度逐渐减慢。第二阶段蠕变速度维持接近相等，同时，由于温度升高的影响，除了硬化性，也出现了材料解体性。因而，在这一阶段中硬化性与解体性两者保持平衡。柏立 (Bailey) 的第三阶段是解体性占到了优势，蠕变速度因而增加直至材料发生断裂。在外力不变的情况下，蠕变过程在第三阶段中会出现蠕变速度再次上升更为加速的情况。这是由于在蠕变过程中横断面面积减小而使单位面积受力逐渐增加所致。

迄今，研究人员对蠕变问题的意见仍不一致。一般具有代表性的意见认为，即便受力很小也和蠕变有关。很可能归根到底蠕变速度是有决定性的，蠕变速度随负载下降而减低，温度对它也起着重要的作用。

根据现阶段的研究结果，允许作如下假定：在低于 450°C，受力足够小的情况下，即使作热试验，其伸长率仍然维持静止状态。其最后变形停止的时间，在任何情况下，比在

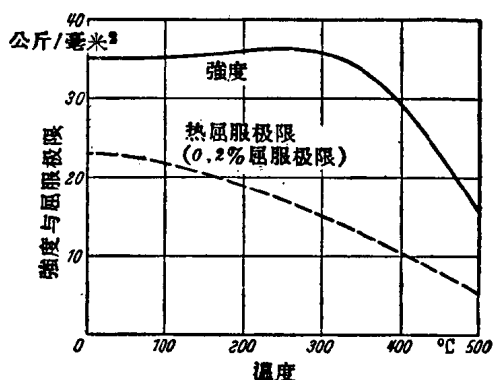


图 2 强度及屈服极限与温度的关系

① 柏立：工程杂志第119卷(1925)，第518页(Bailey, R.W.: Engineering Bd. 119(1925)S. 518.)

常温下要长得多，并且根据研究人员的意见，甚至要延续几个月。

在一定的温度下，试将拉力增加到超出了材料本身在该温度下的允许数值，这时伸长率通常不会维持静止状态，而且试件会继续伸长以至断裂。对于使试件原断面刚刚免于断裂而使伸长处于静止状态的载荷，或者说，使试件在无限长的时间内才可以断裂的载荷，叫做材料的持久强度(在一定的温度下)。

图3中横座标表示时间，纵座标表示某种合金钢在450°C时的持久伸长率，曲线任意点上的切线斜率表示在有关载荷作用下和相应的试验时间的伸长速度。图中标出了每一曲线在5~10以及25~30试验小时中间的平均伸长速度。同时可以看出，载荷下降时伸长速度很自然的随之减小。

十分明显，在试验中精确地确定持久强度，需时太久且不经济。因此，有些研究人员找出了具有以下特点的简便方法：

(a) 试验时间缩短为最多不超过100小时。

(b) 保证求出在一定的时间内其最初的伸长率还属于静止状态的载荷。

(c) 确定能够导致持久伸长率的载荷。

鲍浦(Pomp)及达门(Dahmen)①在1927年已经作了很多试验。这些试验确定，假如在25~35试验小时内伸长速度不超过 $10 \cdot 10^{-4} \%$ /每小时 (=0.001%/每小时)时，则伸长率一般是维持不变的静止状态。这一缩短时间的试验方法只满足了上述a, b两种条件，但没有说明永久变形的問題。

伸长率曲线在线性坐标系中，在一定范围内，可进一步看作为如下的抛物线形式：

$$\epsilon_t = \epsilon_1 \left(\frac{t}{t_1} \right)^m \quad (3)$$

上式在重对数(log-log)坐标系上，可用直线公式

$$\log \epsilon_t = \log \epsilon_1 + m \log \left(\frac{t}{t_1} \right) \quad (4)$$

表示。直线对横座标的斜度为m。由此得出以下公式：

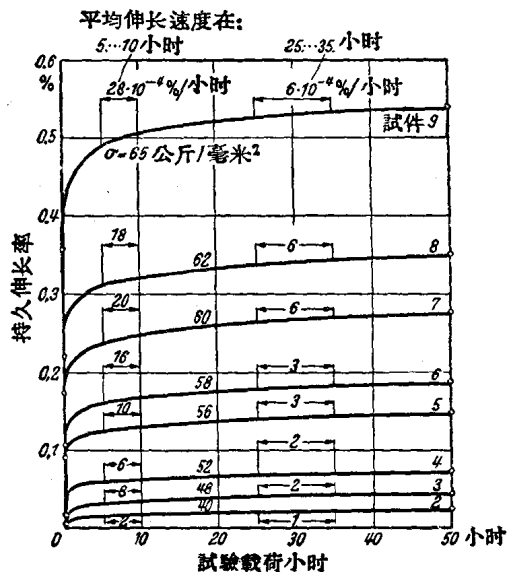


图3 CrMo钢在450°C时的持久伸长率曲线(根据乌利希文献②)

① 鲍浦及达门：确定高温下钢的持久强度的简便方法的发展，K.-Wilh. 研究院铁的研究报告书卷9(1927)，第33页。(Pomp, A., u. A. Dahmen; Entwicklung eines abgekürzten Verfahrens zur Ermittlung der Dauerstandfestigkeit von Stahl bei erhöhten Temperaturen, Mitt. K.-Wilh.-Inst. Eisenforsch. Bd. 9 (1927) S. 33.)

② 西拜尔，乌利希：在持久试验中时间伸长极限的确定。见德国工程师杂志VDI卷76(1932)，659页。(Siebel, E., u. M. Ulrich; Die Bestimmung von Zeitdehngrenzen im Dauerstandversuch, Z. VDI Bd. 76 (1932) S. 659.)

乌利希：材料在高温下的状态，见热工汇编卷18(1937)，169页。(M. Ulrich; Das Verhalten der Werkstoffe bei hoher Temperatur, Arch. Wärmew. Bd. 18 (1937) S. 169.)

$$v = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\varepsilon m}{t} \quad (5)$$

按照上式，在任意時間 t 与持久伸长率 ε 的情况下，可以求出伸长速度 v (参照图 4)。

持久强度已由 DVM 标准^① 规定为：在 25~35 小时的試驗中所形成的伸长速度为 $10 \cdot 10^{-4} \%$ / 每小时，并且在载荷延續 50 小时后的最高持久伸长率为 0.2% 时的应力。

短時間試驗所取得的上述持久强度值通常称为“DVM 蠕变极限”。在考虑了它的确定方法，它只能对各种材料在高温下可能的情况进行数值比較时，提供依据。

对于 500°C 以上的高温材料，“DVM 蠕变极限”沒有提供可靠的許可载荷数据^②。在較高温度的长時間試驗中，証明了 DVM 蠕变极限对断裂方面沒有足够的安全系数，并且在持久伸长率方面达到了不許可的高数值。

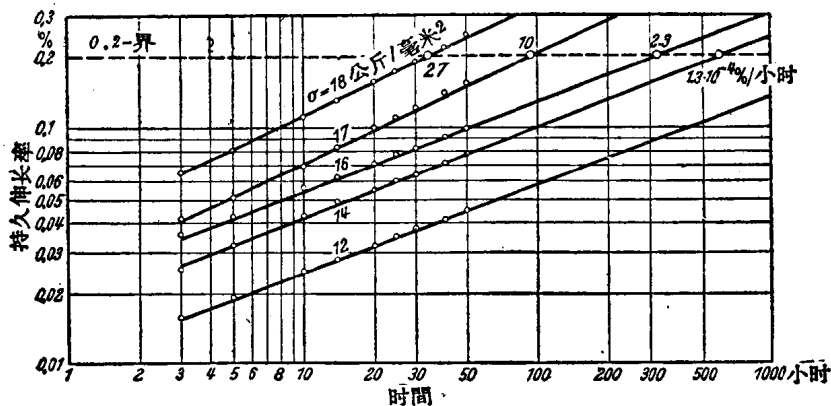


图 4 CrNiWo 鋼在 600°C 时持久伸长率的重对数曲线 (摘自西拜尔, 烏利希, 德国工程杂志卷 76 (1932), 27 期, 662 頁)

从以上的討論中，“時間伸长极限”及“時間持久强度”的涵义可以得到說明。

一致公认，時間伸长极限是在一定時間內伸长率达到 1% 时的载荷值。

按照上述情况，有以下区别：

$\sigma_{1\%/10000h}$ = 在 10000 小时中持久伸长率为 1% 时的時間伸长极限

及

$\sigma_{1\%/100000h}$ = 在 100000 小时中持久伸长率为 1% 时的時間伸长极限。

按照不同零件的类别，必須判断它在一定時間內哪种持久伸长率是允許的。这样，可以为了判断許可载荷而决定选用第一个数值或第二个数值。大家公认：在 100000 小时内持久伸长率为 1% 时的時間伸长极限是管道設計的可用数据，根据現有的經驗，知道它可以保証有足够的安全。

但是，这种载荷对于长時間的断裂是否保証有足够的安全，需要再加以校核。这里，

① DVM 德国工程材料試驗协会 (Deutscher Verband für die Materialprüfung der Technik.)

② 撒姆, 里查: 金属材料在持久载荷下的变形与强度。見德国工程杂志卷 87 (1943), 33/34 期, 513 頁。(Thum, A., u. K. Richard; Verformung und Festigkeit metallischer Werkstoffe bei Dauerstandbeanspruchung, Z. VDI Bd. 87 (1943) H. 33/34, S. 513.)

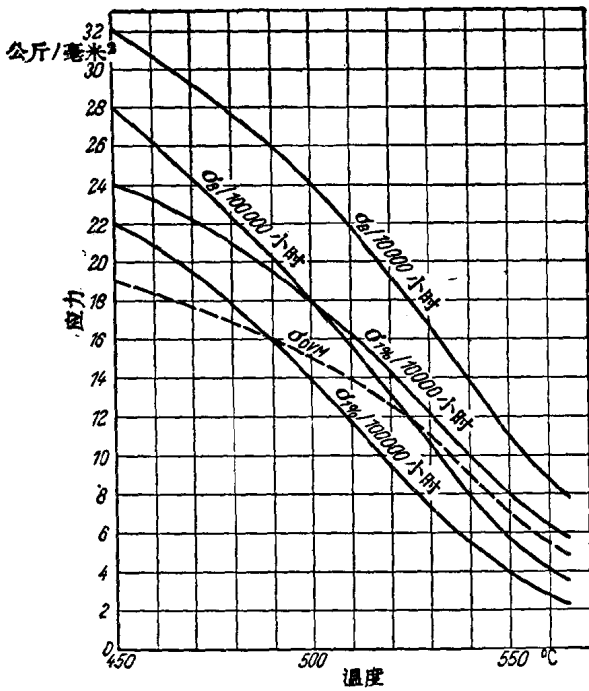


图 5 13CrMo44鋼的时间伸长极限及時間持久强度

将用到“時間持久强度”。

時間持久强度是在長時間的試驗中，在一定時間过程內不发生断裂的載荷。

時間持久强度也有两个不同的数值：

$\sigma_{B/10000h}$ = 在 10000 小時的時間持久强度，

及

$\sigma_{B/100000h}$ = 100000 小時的時間持久强度。

并且，一般是把相当于11年半的期間的第二个数值作为判断的基础。

一般习惯于用以下数值作为設計管道的基础，即在100000小時后的持久伸长率不超过 1%，并且不大于 100000小時持久强度的 $\frac{2}{3}$ ，即

$$\sigma_{zul} \leq \sigma_{1\%/100000h} \leq \frac{2}{3} \cdot \sigma_{B/100000h} \quad (6)$$

图 5 表示 13 CrMo44 类鋼的時間伸长极限及時間持久强度与溫度的关系。从图上可以看出，在高温中 DVM 蠕变极限曲线超过了時間伸长极限，并且几乎接近了時間持久强度。在这个範圍內不存在材料的富裕的許可載荷。

§3. 缺口冲击韌度

所謂缺口冲击韌度是材料的另外一个重要特征。它由冲击試驗确定：由一个带缺口的試件，两端“逆承”或一端嵌固后，經過一次冲击使之断裂。这样，对于試件在缺口处每 1

厘米² 的断面积所需要的冲击功(米公斤)叫做冲击比功或缺口冲击韌度。也常常簡称为缺口韌度。其单位是米公斤/厘米²。

缺口冲击韌度与試件形状及試驗条件有极重要的关系。因此，缺口冲击数值要标明試件的形状与試驗条件，以便能够与其他材料作确切的数值比較。

表 1 缺口冲击韌度

材 料	缺口冲击韌度 (米公斤/厘米 ²)	附 注
St 35.8	12	
St 45.8	9	
MoSt 45.25	12	在交貨情況下
MoSt 45.25	9	在老化情況下
CrMoSt 45.25	9	在交貨情況下
CrMoSt 45.25	7	在老化情況下

表 1 內列出了几种常用管道鋼的缺口冲击韌度值。其試驗值完全是采用 10 × 10 × 55 毫

米带有圆缺口的 DVMR^① 試件而得出的，并且仅适用于常温情况下。

第二章 管道材料及其性质

§1. 普通管道鋼与合金管道鋼

在第一章第二节中已經指明温度对于材料的强度性质有重要的影响。因此，在确定管子尺寸时，必須注意要把有关工作温度适用的强度数值应用到計算中去。特別在高温时，由于內压力形成的超应力使管子不断扩脹，管壁厚度逐渐减小，因而比应力繼續升高，最后导致断裂。由內压力造成管子扩脹的危險，可以用增加管壁厚度的方法来消除。

但是，在两个固定点中間，由于热脹所形成的应力，不能用上述方法处理。在热脹情况下，如果增加管壁厚度，不但沒有好处，而且相反的只是使約束力更为增加。因此，管壁厚度只是对抵抗內应力有效。可以采用彈性管段(或者加装膨脹补偿器)以便尽可能的消除由于热脹而形成的約束力。

此外，增加管壁厚度，将使与管道連結的机器或装置的固定点，受到大得不能允許的力。而所增加的管道重量与运输費用也毫无疑问的影响了基建成本。

因此，人們在寻求选用适当合金材料的方法以改善高温材料的强度。在这方面鋼鐵工业发展了很多品种的特种鋼材，以便正确的适用于不同用途的需要。

迄今，用于管道方面的鋼材，分組如下：

a) 适用于一般运行情况下的普通碳素鋼，温度通常达 400°C，在机械、热力及化学影响方面沒有高的要求。

b) 适用于內压力形成高应力情况下的合金鋼，特别是温度超过 400°C 时。

c) 适用于特殊情况下的合金鋼，适用于：除了机械与热脹应力以外，流体对材料的化学影响也起重要作用的情况下。这方面只簡單的指出超过 600°C 时的“蒸汽分解”(Dampfspaltung) 現象，以及有关“硬度分解”(Ausscheidungshärtung) 和所謂“凝聚現象”(Koagulation)，亦即顆粒极限稳定度的变化問題，最后将不涉及抗燒强度問題。

有关各种鋼材品种的发展情况及其各种成份的权威性的观点，在專門文献中已做了很詳尽的公开介紹。

以下只是列出了在管道設計中一般常用的鋼材及特种鋼材，同时也列出了对管道計算起重要作用的鋼材性质。而鋼材制造业已把不同用途的特种鋼材在主要方面加以标准化，这样，同組鋼材不管其标号如何就具有近似的强度特征值。

表 2 中列出了主要鋼材組在短時間試驗中得出的重要性质，而表 3 中則列出了在長時間試驗中得出的数值，其時間伸長极限及時間持久强度是对 100000 小时而言的。

普通常用鋼材綜合在碳素(C)鋼一組中。按照强度要求，鋼材含碳成份在 0.1 与 0.3% 之間变动。另外，这一組的鋼还含有硅和錳，这种鋼普通用于对热脹强度沒有高的要求的地方，亦即多数用于到 25 大气压为止的中压及运行温度低于 400°C 的情况下。

① DVM 为德国材料試驗协会，R 指試件为圆缺口——譯者。