

76
16.

石油机械用钢手册

(鋼材性能部分)

彈簧鋼及軸承鋼

石油工業部器材供應製造局 編

为了便于石油机械設計、制造部門合理选用鋼材和正确制訂热处理工艺规范，特編写《石油机械用鋼手册》。根据各方面讀者的急需，先将本手册主要章节以若干单行本陸續出版。这些单行本分属两大类。第一大类是鋼材性能部分，包括：优质碳素結構鋼；合金結構鋼（按合金化特点分册出版）；低合金高强度鋼；彈簧鋼及軸承鋼；不銹鋼及耐热鋼；鑄鋼；等等。第二大类是石油机械設計中的材料选择問題。

本书是《石油机械用鋼手册》鋼材性能部分的一个单行本。它簡要叙述了彈簧鋼及軸承鋼的一般特性及热成型、热处理工艺，介紹了在高温和腐蝕条件下采用的彈簧鋼及軸承鋼。书中还用图表形式，全面系統地介紹了石油机械常用的 5 个彈簧鋼牌号、4 个軸承鋼牌号的机械性能、物理性能及其使用范围。

本书适用于石油机械設計、制造、研究、使用部門的工程技術人員。对于其他机械制造部門的人員亦有参考价值。

本书彈簧鋼部分，經鉄道部鉄道科学研究所金属化学研究所邓 洋同志校閱；軸承鋼部分經西安交通大学金属材料及强度研究室王笑天、周志渊同志校閱。

石油机械用鋼手册

（鋼材性能部分）

彈簧鋼及軸承鋼

石油工业部器材供应制造局 編

*

石油工业部石油科学技术情报研究所图书編輯室編輯（北京北郊六鋪炕）

中国工业出版社出版（北京修麟閣路丙10号）

北京市书刊出版业营业許可証出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张 $5^{1/4}$ ·字数 81,000

1965年 9 月北京第一版·1965年 9 月北京第一次印刷

印数0001—2,690·定价（科四）0.55元

*

統一书号：15165·4100（石油-364）

本书采用的符号

一、以拉丁字母表示的

A	奥氏体
Ac ₁	加热下临界点
Ac ₂	亚共析钢加热上临界点
Ac _m	过共析钢加热上临界点
A _K	冲击功
a _K	冲击值
Ar ₁	冷却下临界点
Ar ₃	冷却上临界点
B	①贝氏体；②磁感
B _r	剩余磁感
C	①碳化物；②比热
cal	卡
cm	厘米
cm ²	平方厘米
C _p	定压比热
D、d	直径
d _B	布氏硬度试验时的压痕直径
E	正弹性模数
F	铁素体
f	最大挠度
G	剪切模数
g	克
Gs	高斯
h	小时
H _B	布氏硬度
H _{RA}	洛氏硬度 A
H _{RB}	洛氏硬度 B
H _{RC}	洛氏硬度 C
H _v	维氏硬度
kG	公斤（力）
kg	公斤（质量）
M	马氏体
M _f	马氏体转变终止温度
M _s	马氏体转变起始温度
m	①米；②分钟
mm	毫米
Oe	奥斯特

P	①珠光体；②压力
R、r	半径
s	①秒钟；②走刀量
S _b	真实抗拉强度极限（静拉伸试验颈缩开始而尚未开始时的真实应力）
S _K	真实断裂强度（静拉伸试验断裂时的真实应力）
t	①温度；②时间；③吨；④切削深度
V _c	蠕变速度

二、以希腊字母表示的

α	① α -相；②线膨胀系数
α_H	理论应力集中系数
β_H	疲劳缺口应力集中系数
γ	① γ -相；②比重
δ	δ -相
δ_5	伸长率（标距为5倍直径的试样）
δ_{10} （或 δ ）	伸长率（标距为10倍直径的试样）
η_H	缺口敏感度系数
λ	导热率（或称导热系数）
μ	①导磁率；②微米
μ_m	最大导磁率
μ_0	起始导磁率
$\mu\Omega$	微欧姆
ρ	电阻系数（或称比电阻）
σ	① σ -相；②应力
σ_0	松弛试验的初应力
σ_{-1}	光滑试样，对称弯曲应力时的疲劳极限
σ_{-1K}	缺口试样，对称弯曲应力时的疲劳极限
σ_{-1P}	光滑试样，对称拉、压应力时的疲劳极限
$\sigma_{1/10,000}^{500}$	蠕变极限（右上角的指数表示试验温度 θ ， $^{\circ}\text{C}$ ；下面分子上的指数表示规定的伸长率，%；分母上的指数表示规定的试验持续时间，小时。例如， $\sigma_{0.2/100}^{700}$ 即在温度为 700°C 时，经100小时后，允许伸长率为0.2%的蠕变极限）
$\sigma_{1/10-4}^{600}$	蠕变极限（右上角的指数表示试验温度 θ ， $^{\circ}\text{C}$ ；下面的指数表示规定的蠕变速度，%/小时。例如， $\sigma_{1/10-5}^{600}$ 即在温度为 600°C

	时, 蠕变速度为 $1 \cdot 10^{-5} \%$ / 小时的蠕变极限)
$\sigma_{b/1000}^{700}$	持久强度极限 (右上角的指数表示试验温度 ^① , °C; 下面分母上的指数表示持久时间, 小时。例如, $\sigma_{b/10,000}^{550}$ 即在温度为 550°C 时, 持久时间 10,000 小时的强度极限)
$\sigma_{0.2}^{②}$	永久变形量为 0.2% 时的屈服强度
σ_b	抗拉强度
σ_{bb}	抗弯强度
σ_{bc}	抗压强度
σ_e	弹性极限
σ_p	比例极限
$\sigma_s^{②}$	屈服点 (物理屈服强度)
τ_b	扭转强度
$\tau_{0.3}$	永久变形量为 0.3% 时的扭转屈服强度
τ_e	扭转弹性极限
τ_p	扭转比例极限
τ_s	扭转屈服点

τ_{-1}	光滑试样, 扭转应力时的疲劳极限
τ_{-1K}	缺口试样, 扭转应力时的疲劳极限
ϕ	直径
ψ (或 ψ_K)	断面收缩率
ψ_b	颈缩刚开始而尚未开始时 (即最大均匀变形时) 的断面收缩率
Ω	欧姆

三、其 他

°C	摄氏温度
°F	华氏温度
°K	绝对温度
II c	第二阶段转变 (由奥氏体向贝氏体的转变)
梅氏试样	 Mesnager
夏氏试样	 Charpy
艾氏试样	 Izod

注: 本书所列冲击值 (a_K), 未特别注明者, 均系由梅氏试样所得。

- ① 在本书的某些图表中, 若试验温度另有标志时, 则将蠕变极限及持久强度极限右上角的指数去掉, 仅保留下面的指数, 如 $\sigma_{0.2/1000}$, $\sigma_{1 \cdot 10^{-3}}$, $\sigma_{b/100,000}$, 等等。
- ② 在本书的某些图表中, 若 $\sigma_{0.2}$ 与 σ_s 同时出现, 则统以 σ_s 表示。

目 录

本书采用的符号

弹 簧 钢

概述.....	VII—1
弹簧钢的分类	VII—2
弹簧钢的强化	VII—2
弹簧热处理缺陷及防止补救措施	VII—4
在温度较高时采用的弹簧钢	VII—4
在腐蚀条件下采用的弹簧钢	VII—4
弹簧钢带与弹簧钢丝	VII—5
65.....	VII—10
65锰.....	VII—15
55硅 2 锰.....	VII—20
60硅 2 锰高.....	VII—25
50铬钒高.....	VII—31

轴 承 钢

概述	
滚动轴承对材料的基本要求	VII—39
轴承钢的化学成分	VII—39
轴承钢的锻造和热处理	VII—41
轴承钢的尺寸稳定问题	VII—43
高温或腐蚀条件下使用的滚动轴承材料	VII—44
滚 铬 9	VII—45
滚 铬 15.....	VII—49
滚 铬 15 硅 锰.....	VII—63
9 铬 18	VII—68
主要参考文献.....	VII—74

彈 簧 鋼

概 述

彈簧是石油礦場機械、煉廠機械和石油儀器儀表必不可少的零件。

彈簧主要在動載荷的條件下工作。在服役過程，它承受衝擊、振動，或者長期、均勻的周期應力。此外，石油煉廠機械的某些彈簧還同時經受腐蝕和高溫的作用。

為了保證彈簧可靠的工作，製造彈簧的鋼材必須具有高的彈性極限（或屈服強度）、疲勞強度，並有足夠的韌性和塑性。

按冶金工業部標準 YB 8—59 的規定，製造扁形和螺旋彈簧的鋼材共有 25 個牌號（見附表 2）。其中，65、65Mn、55Si2Mn、60Si2MnA、50CrVA，是石油機械常用的牌號。

常溫下使用的彈簧鋼的特点是含碳量較高。碳素彈簧鋼含碳量為 0.6—0.9%，合金彈簧鋼的含碳量為 0.47—0.74%。而高溫及腐蝕條件下使用的高合金彈簧鋼的含碳量一般較低。例如，30W4Cr2VA 的平均含碳量為 0.3%。從顯微組織上看，彈簧鋼都屬於亞共析鋼和共析鋼。

彈簧鋼應具有高的冶煉純度及均勻性。一般需在平爐或電爐內冶煉。受中等應力的彈簧，含硫量不應超過 0.045%，含磷量不應超過 0.04%。受高應力的彈簧，含硫量不應超過 0.035%，含磷量不應超過 0.030%。

彈簧鋼應具有良好的表面狀態。其表面不應有裂縫、折迭、拉裂、結疤、發紋、氣泡、夾雜和壓入的氧化鐵皮。彈簧的表面質量是它的疲勞強度的主要影響因素。不同表面狀態彈簧的疲勞極限可以相差 7—8 倍。彈簧表面狀態不但使疲勞極限值降低，同時還影響過負荷持久值（即疲勞曲線傾斜部分向左移）。彈簧的強度越高、尺寸越大，這種影響越嚴重。

彈簧鋼的內部缺陷也應嚴加限制。鋼材斷面及酸浸後橫向試片的低倍組織，不應有縮孔、裂縫、分層、白點、氣泡及夾雜。含硅量很高的鋼，還應檢查石墨析出情況。當檢查斷口的石墨析出時，斷口為黑色者應報廢。除了作斷口檢查外，還可作顯微組織檢查和化學分析。顯微組織檢查按 YB 43—64 的規定評級。進行化學分析時，游離碳含量大於 0.08% 者應報廢。

晶粒大小影響彈簧的韌性、塑性。成品彈簧的晶粒應盡量在 5—8 號的範圍內。為此，應嚴格控制熱處理規範，防止過熱。重要的彈簧，則選擇本質細晶粒鋼。

彈簧鋼表面脫碳也會嚴重降低其疲勞強度。總脫碳層（鐵素體 + 過渡層）的深度，應符合 YB 8—59 及有關技術條件的規定。

鋼的化學成分和熱處理對正彈性模數和剪切模數很不敏感。只是冷變形對剪切模數的影響較顯著一些。各種牌號彈簧鋼室溫時的正彈性模數 E 的計算值建議採用 $21,000\text{kg/mm}^2$ ，剪切模數 G 建議取 $8,000\text{kg/mm}^2$ 。對於冷拉鋼絲， E 建議取 $21,000\text{kg/mm}^2$ ， G

建議取8,300kG/mm²。

彈簧鋼的分類 按供應狀態的機械性能，彈簧鋼可以分為兩類：

(1) 在供應狀態已具有成品彈簧所需要的機械性能的彈簧鋼。彈簧作好後，僅需要以低溫回火消除冷狀態下拉、卷造成的應力，提高彈性極限，減少永久變形。這類鋼通常按綫材供應。石油礦場機械中使用得較少，但石油儀器、儀表中使用得較多。

(2) 以熱軋狀態供應的鋼。成品彈簧所必須的機械性能由成型後的热處理達到。石油礦場及煉廠機械的彈簧，主要採用這一類鋼。

按化學成分，彈簧鋼分碳素鋼和合金鋼兩類。碳素彈簧鋼含碳0.6—0.9%，錳0.30—0.80%，硅0.17—0.37%。合金彈簧鋼含碳0.46—0.74%。加入的合金元素主要是Si、Mn、Cr。最重要的彈簧還要加W、V。

碳素彈簧鋼。價錢低廉，來源方便；鋼內夾雜物少，純度較高；在同樣淬透的情況下，其疲勞強度和合金彈簧鋼相差不多。但是，碳素彈簧鋼淬透性很低，截面超過7—12毫米時，在油中淬不透。若淬水，開裂傾向很大，借提高碳含量來增加淬透性和疲勞強度時，韌性和塑性則急劇降低。特別是低溫沖擊值降低很多。碳素彈簧鋼屈強比 $\left(\frac{\sigma_s}{\sigma_b}\right)$ 較低，經不起較大的過負荷。此外，缺口敏感度高；抗氧化能力差。因此，碳素彈簧鋼通常只用於截面15毫米以下的不大重要的小型彈簧。

錳彈簧鋼。由於錳的作用，淬透性較碳素彈簧鋼提高了一些。截面8—15毫米左右時，在油中淬火可以淬透。脫碳的傾向較碳鋼、硅錳鋼、鉻釩鋼低。但有過熱敏感性和回火脆性傾向。淬火時，形成裂紋的傾向亦較大。與硅錳彈簧鋼相比，疲勞強度和彈性極限較低，屈強比也小得多。但，錳彈簧鋼非常便宜，在石油機械中，廣泛用於製造不大重要的彈簧。

硅錳彈簧鋼。在鋼中硅溶於鐵素體，使鐵素體顯著強化。因此，含硅鋼的彈性極限（屈服強度）很高，屈強比可以達到0.8—0.9。由於硅、錳的共同作用，淬透性顯著提高。硅的加入，提高了高溫時的抗氧化性和回火穩定性。同時，過熱敏感性也是較小的。

硅錳鋼易於脫碳。同時，硅的含量高，不可避免地要形成很多硅酸鹽夾雜物。因此，硅錳鋼是較“脏”的。這對淬火開裂傾向及成品彈簧的疲勞強度有一定的影響。但硅錳彈簧鋼優點是主要的。並且，若在熱成型和熱處理時嚴格控制，某些缺點是可以減輕或消除的。

硅錳彈簧鋼的成本低廉，石油礦場和煉廠機械中採用得非常廣泛；主要用於製造截面25—30毫米以下的扁形和螺旋彈簧。

鉻釩彈簧鋼（50CrVA）的少量的釩（0.10—0.20%），能細化晶粒，使之不易過熱。鉻和釩的共同作用，大大提高了淬透性。在硬度高時，鉻釩鋼的缺口敏感度並不顯著增高。回火穩定性高，在500°C回火時，仍有高的硬度和強度。在高溫時有較高的穩定性。這種鋼主要用於大截面的、應力較高的螺旋彈簧，以及300°C以下工作的彈簧。

彈簧鋼的強化 石油機械所用的彈簧，大都在H_RC40—49的硬度範圍。為了達到這個硬度要求，通常採用淬火中溫回火，得到屈氏體組織或索氏體組織。近年來，國內外也有

人进行了弹簧的等温淬火试验，但实际生产中还未采用。要求很高的弹簧，除了进行一般的热处理外，还要采用喷丸处理和其他的强化措施。

淬火加热温度应该合理选择。在晶粒不致长大的条件下，加热温度可以适当高一些，使转变易于发生，并使固溶体溶解度更加均匀。但是，过高的加热温度是忌諱的。特别是锰钢（容易过热）、硅锰钢（容易脱碳），应该严格控制加热温度。

弹簧应均匀地被加热到淬火温度。当截面大时，温度取上限，截面小时取下限。淬火加热炉应保持均匀、准确的炉温。

热成型弹簧，允许利用成型后的余热进行淬火。这样，可以免除再一次加热，既降低了成本，提高了生产效率，又减轻了氧化脱碳的危害。但，采用这样的操作必须严格控制加热规范。假若，成型加热时钢已过热，或者，成型动作迟缓，淬火前的温度过低（低于 A_{r3} ），都是不允许的。这两种情况，都应该重新加热，再行淬火。

弹簧钢的含碳量都很高，淬火后，马氏体的比容很大。因此，淬火剂不应太剧烈，以防变形和开裂。一般都应采用油淬。在某些情况下，碳素弹簧钢和锰弹簧钢可以采用水淬，或者水淬油冷。采用水淬时，水的温度应该在30—40°C左右，不宜低于20°C。弹簧淬入冷却剂后，等表面温度降低至100—150°C时，即取出在空气中继续冷却。

回火应在淬火后立即进行。回火与淬火的间隔，最好不超过1小时，以防淬火内应力自行发展而开裂。淬火后的硬度很高，但强度指标却很低，塑性指标和韧性指标也非常低。弹簧淬火后不回火，或者回火不够，是不宜使用的。

弹簧回火温度一般在350—500°C的范围。具体的回火温度应根据不同的弹簧材料 and 不同的使用要求而定。在炼油厂使用的耐高温的弹簧，其回火温度至少应高于工作温度100°C。

回火时所发生的各种变化，基本上是在回火初期半小时内完成的。因此，弹簧的回火时间，一般除了整个截面到达回火温度所需要的时间外，能有30分至60分钟的保温即可。当然，回火时间还与加热介质和弹簧截面尺寸有关。下列为几个牌号弹簧钢的推荐的回火保温时间：

钢 号	在下列截面时的回火保温时间（分钟）				
	<10mm	10—15mm	15—20mm	20—25mm	25—42mm
65	20—30	30—35	—	—	—
65Mn	20—30	30—35	40—45	—	—
55Si2Mn	25—30	30—35	40—45	45—50	—
60Si2Mn	25—30	30—35	40—45	45—50	—
50CrVA	25—30	30—35	40—45	45—50	50—70

注：上表为铅浴中回火时的数据。若是在盐浴中回火，则回火时间应加25%。

弹簧的组织均匀性和性能均匀性非常重要。过短的回火时间，显然不能达到这个要求，是不适宜的。而过长的回火时间对性能改善不大，是不经济的。大多数弹簧钢没有第二类回火脆性，弹簧的回火温度也没有在第二类回火脆性的范围。因此，弹簧回火后可以采用任意冷却方式。但快冷（水冷、油冷）能在弹簧表面造成压应力，对疲劳强度是有利的。

松弛热处理。长期受拉伸或压缩的弹簧，在应力低于弹性极限的情况，其长度发生变化（增加或减少），降低应力。这种松弛现象会使控制机构发生偏差（例如使安全阀发生蒸汽泄漏）。

弹簧的松弛现象是由弹性后效引起的。为了避免松弛现象的发生，石油机械的安全阀弹簧及炼厂机械中在较高温度下使用的弹簧，在一般热处理后，往往还要进行松弛热处理。松弛热处理的进行过程是：①预先变形，变形量应超过工作时可能发生的变形量。②在较高工作温度略高的温度保持约25小时。

钢号	最高工作温度，°C	松弛处理温度，°C
60Si2MnA	250	250
50CrVA	300	320
4Cr13	400	420

喷丸处理。喷丸处理是提高弹簧疲劳强度非常有效的措施之一。国内外已广泛地把它纳入弹簧生产工艺流程。喷丸对弹簧产生三种影响：（1）表面层因塑性变形而产生强化，硬度、强度均提高；（2）在表面产生两向压应力，使外加交变对称循环变成小拉应力至大压应力的不对称循环，大大提高疲劳强度；（3）降低脱碳、裂纹、压痕等表面缺陷的损害作用。经过喷丸处理的弹簧与未经喷丸处理的弹簧相比，疲劳强度和使用寿命可以成倍提高。

弹簧热处理缺陷及防止补救措施 弹簧常见的热处理缺陷是：氧化、脱碳、过热、过烧、淬裂、硬度不够、软点，等等。这些热处理缺陷的产生原因，缺陷带来的危害，以及防止补救措施等，列于附表1中。

在温度较高时采用的弹簧钢 石油炼厂机械中，常采用以下几个牌号的钢，用作在较高温度下使用的弹簧：

牌号	最高工作温度，°C
60Si2MnA	250
50CrVA	300
4Cr13	400
W18Cr4V	600

淬火后的回火温度至少要高于工作温度100°C。

4Cr13、W18Cr4V的性能数据，列于本书另外的章节。

在腐蚀条件下采用的弹簧钢 石油机械中，与浸蚀性较强的油品及矿水接触的弹簧，常常采用2Cr13、1Cr18Ni9等材料。

2Cr13是马氏体类钢，可以经淬火回火处理，提高弹性极限和疲劳强度，满足弹簧的服役要求。如果采用2Cr13的冷轧钢带或冷拉钢丝冷卷成型弹簧，冷卷后必须进行回火处理。回火温度不宜超过300°C。

1Cr18Ni9是奥氏体类钢。用作弹簧的1Cr18Ni9均以冷轧钢带或冷拉钢丝供应。冷拉钢丝的抗拉强度可达112kG/mm²（线径7.8mm）至224kG/mm（线径0.25mm）。冷卷成型后必须予以回火处理。回火温度不超过450°C。

2Cr13及1Cr18Ni9的耐腐蝕範圍及性能數據列於本手冊的不銹鋼與耐熱鋼部分。

彈簧鋼帶與彈簧鋼絲

彈簧鋼帶所用的鋼材大部分為碳素鋼，如 T7、T7A、T8、T8A，等等。也有用合金鋼的，如 60Si2MnA、50CrVA 等。這類鋼材大部分是冷軋的。鋼材狀態有：冷硬的、退火的、預先淬火回火至一定硬度的。

預先淬火回火至一定硬度的彈簧鋼帶，一般在供應狀態已具有 $\sigma_b = 130-160 \text{ kg/mm}^2$ ($H_B = 375-485$)， $\sigma_b = 161-190 \text{ kg/mm}^2$ ($H_B = 485-600$) 或 $\sigma_b > 190 \text{ kg/mm}^2$ ($H_B > 600$) 的強度，在冷狀態下卷製成彈簧後，不必進行淬火回火，只經低溫回火（回火溫度為 $230-290^\circ\text{C}$ ）即可。

YB 208—63 規定了冷硬狀態和退火狀態彈簧鋼帶的機械性能：

鋼 號	冷硬鋼帶	退 火 鋼 帶	
	σ_b (kg/mm^2)	σ_b (kg/mm^2) 不 大 于	δ (%) 不 小 于
65Mn、T7、T7A、T8、T8A	75—120	65	20
T8Mn、T8MnA、T9、T9A、T10 T10A、T12、T12A、85	75—120	75	10
T13、T13A	—	90	—
60Si2Mn、60Si2MnA 65Si2MnWA、50CrVA	80—120	90	10
70Si2CrA	80—120	85	8

其中，冷硬鋼帶可根據使用要求及鋼帶實際達到的機械性能，決定冷卷後是否進行淬火回火處理。退火鋼帶必須進行淬火回火處理。

彈簧鋼絲有碳素鋼的，也有合金鋼的。

碳素彈簧鋼絲是由 YB 4—63、YB 5—59 的一些鋼號用不同的工藝生產的。按 YB 248—64，碳素彈簧鋼絲在供應狀態已具備了需要的機械性能；冷狀態下纏繞成型後，不必進行淬火回火處理，只需在 $180-370^\circ\text{C}$ 低溫回火。回火時間，小型彈簧 15—30 分鐘，較大的彈簧 1 小時左右。

按 YB 248—64，碳素彈簧鋼絲分為四組：Ⅰ組、Ⅱ組、Ⅱa組、Ⅲ組。下頁表是各組碳素彈簧鋼絲在供應狀態已經具備的機械性能。

按 YB 249—64，合金彈簧鋼絲主要由 60Si2MnA 製造。如果需要，也可向鋼廠訂購 63Si2MnA、50CrVA、60Si2CrVA、55Si2Mn、65Si2MnWA、60Si2Mn 彈簧鋼絲。

合金彈簧鋼絲繞成彈簧後，必須進行熱處理（淬火和回火）。

此外，YB 285—64 還規定了鉻釩彈簧鋼絲。鉻釩彈簧鋼絲是由 50CrVA 製成的。這種彈簧在供應狀態的硬度為 $H_{RC} \geq 33$ 。經 $840-860^\circ\text{C}$ 淬油， $370-420^\circ\text{C}$ 回火（30 分鐘）後，機械性能達到：

$$\sigma_b \geq 150 \text{ kg/mm}^2; \psi \geq 40\%; H_{RC} = 42-50.$$

鋼絲直徑 (mm)	I 組			II 組			II a 組			III 組		
	σ_b	反復彎 曲次數	扭轉 次數	σ_b	反復彎 曲次數	扭轉 次數	σ_b	反復彎 曲次數	扭轉 次數	σ_b	反復彎 曲次數	扭轉次數
	(kG/mm ²)	(>)	(>)	(kG/mm ²)	(>)	(>)	(kG/mm ²)	(>)	(>)	(kG/mm ²)	(>)	(>)
0.14	270—310	—	35	225—270	—	35	225—270	—	35	175—225	—	35
0.15	270—310	—	34	225—270	—	34	225—270	—	34	175—225	—	34
0.16	270—310	—	33	225—270	—	33	225—270	—	33	175—225	—	33
0.18	270—310	—	31	225—270	—	31	225—270	—	33	175—225	—	31
0.20	270—310	—	30	225—270	—	30	225—270	—	32	175—225	—	30
0.22	270—310	—	29	225—270	—	29	225—270	—	32	175—225	—	29
0.25	270—310	—	27	225—270	—	27	225—270	—	32	175—225	—	27
0.28	270—310	—	26	225—270	—	26	225—270	—	31	175—225	—	26
0.30	270—310	—	23	225—270	—	23	225—270	—	31	175—225	—	23
0.32	265—305	—	22	220—265	—	22	220—265	—	30	170—220	—	22
0.36	265—305	—	22	220—265	—	22	220—265	—	30	170—220	—	22
0.40	265—305	—	20	220—265	—	21	220—265	—	28	170—220	—	21
0.45	265—305	—	17	220—265	—	20	220—265	—	28	170—220	—	20
0.50	265—305	—	16	220—265	—	19	220—265	—	27	170—220	—	19
0.56	265—305	—	16	220—265	—	19	220—265	—	27	170—220	—	19
0.60	265—305	—	16	220—265	—	18	220—265	—	25	170—220	—	18
0.63	260—300	—	16	215—260	—	18	215—260	—	25	170—215	—	18
0.70	260—300	—	16	215—260	—	18	215—260	—	25	170—215	—	18
0.75	260—300	—	16	215—260	—	17	215—260	—	24	170—215	—	17
0.80	260—300	11	16	215—260	12	17	215—260	12	24	170—215	12	17
0.85	255—290	11	16	210—255	11	17	210—255	11	24	165—210	11	17
0.90	255—290	10	16	210—255	11	17	210—255	11	24	165—210	11	17
1.00	250—285	9	16	205—250	10	17	205—250	10	24	165—210	10	17
1.10	240—275	8	16	195—240	8	17	195—240	8	24	155—200	9	17
1.20	240—270	7	16	195—240	7	17	195—240	7	24	155—200	8	17
1.30	230—260	19	16	190—230	18	17	190—230	18	24	150—190	18	17
1.40	230—260	17	16	190—230	17	17	190—230	17	24	150—190	17	17
1.50	220—250	15	16	185—220	15	17	185—220	15	24	145—185	15	17
1.60	220—250	13	16	185—220	13	17	185—220	13	24	145—185	13	17
1.70	210—240	11	15	180—210	10	17	180—210	10	24	140—180	11	17
1.80	210—240	10	15	180—210	10	17	180—210	10	24	140—180	11	17
2.00	200—230	8	14	180—210	9	16	180—210	9	23	140—180	10	16
2.20	190—220	7	13	170—200	8	15	170—200	8	22	140—175	9	15
2.30	190—220	6	13	170—200	7	15	170—200	7	21	140—175	8	15
2.50	180—205	6	12	165—195	7	15	165—195	7	21	130—165	8	15
2.80	175—200	7	11	165—195	9	14	165—195	9	19	130—165	10	14
3.00	170—195	4	10	165—195	5	13	165—195	5	18	130—165	7	13
3.20	170—195	4	10	155—185	5	13	155—185	5	18	120—155	7	13
3.40	165—190	3	9	155—180	5	13	155—180	5	18	120—155	6	13
3.60	165—190	3	7	155—180	5	13	155—180	5	18	120—155	5	13
4.00	160—185	4	6	150—175	6	13	150—175	6	18	115—150	6	13
4.50	150—175	4	6	140—165	5	12	140—165	5	16	115—145	5	12
5.00	150—175	3	4	140—165	4	9	140—165	4	13	110—140	4	9
5.60	145—170	5	4	135—160	6	6	135—160	6	8	105—135	6	6

(續表)

鋼絲直徑 (mm)	I 組			II 組			II a 組			III 組		
	σ_b	反復彎 曲次數	扭轉 次數	σ_b	反復彎 曲次數	扭轉 次數	σ_b	反復彎 曲次數	扭轉 次數	σ_b	反復彎 曲次數	扭轉次數
	(kG/mm ²)	($\geq$)	($\geq$)	(kG/mm ²)	($\geq$)	($\geq$)	(kG/mm ²)	($\geq$)	($\geq$)	(kG/mm ²)	($\geq$)	($\geq$)
6.00	145—170	3	2	135—160	6	4	135—160	6	6	105—135	6	4
6.30	—	—	—	125—145	6	—	—	—	—	100—125	6	—
7.00	—	—	—	125—145	6	—	—	—	—	100—125	6	—
8.00	—	—	—	125—145	5	—	—	—	—	100—125	5	—

附表 1 彈簧熱處理缺陷及防止、补救措施

缺陷性质	測定方法	产生缺陷的主要原因	缺陷带来的危害	防止及补救措施
氧 化 析	(1) 外觀目測; (2) 熱蝕; (3) 显微組織分析	加熱爐中的氧與鐵起作用(若為硅錳鋼, 氧還與硅起作用)。有 SO ₂ 存在時, 硫與鐵起作用生成 FeS, 進而與氧化物形成共晶型化合物	(1) 使有效斷面減小, 從而降低了彈簧的強度、剛度; (2) 氧化的結果, 表面凹凸不平, 甚至呈網狀裂紋, 急劇降低彈簧的疲勞強度; (3) 氧化皮導熱性差, 降低彈簧的淬透性	不能补救。為了防止氧化產生, 應採取如下措施: (1) 加熱溫度不能過高, 持續時間不能過長; (2) 控制加熱爐內的氣氛: 固體加熱爐用的煤應選用含硫低的煙煤, 煤氣爐的煤氣應經淨化處理, 去除 SO ₂ ; (3) 通入保護氣體; (4) 在鹽浴或鉛浴中加熱
脫 炭 析	(1) 檢查硬度; (2) 显微組織分析	氣體介質 (CO ₂ 、H ₂ O、H ₂) 與固溶體中的碳化物或化合物 Fe ₃ C 分解並與氣體介質作用	(1) 相當於減小了有效斷面, 從而降低了彈簧的強度; (2) 急劇降低疲勞強度	不能补救。為了防止脫碳產生, 應採取如下的措施: (1) 加熱溫度不能過高, 持續時間不能過長; (2) 爐內通入保護氣體; (3) 工件埋入生鐵屑 (50% 的新的和 50% 廢旧的)、木炭加 5% 蘇打的箱子內加熱; (4) 鹽浴槽加入數量為 1.0—1.5% (鹽的重量) 粉末狀的硅鐵、硼砂、赤血鹽 (25—30 克), 每班二次
過 熱	(1) 显微組織分析; (2) 斷口檢查	加熱溫度過高, 保溫時間過長	(1) 韌性和塑性降低; (2) 淬火時變形大, 易于產生淬火裂紋; (3) 淬火後, 內應力大 過熱狀態的彈簧不宜使用	补救時, 重新按正常規範淬火、回火。如果過熱嚴重, 在重新淬火之前, 應先經一次或二次正火
過 燒	(1) 显微組織分析 (用硫酸-硝酸溶液浸蝕, 顯現出黑色網格); (2) 斷口檢查 (岩石狀斷口)	加熱溫度過高 (一般高於 1200°C), 鋼中硫化錳隨加熱溫度的提高而溶解; 當鋼再從過熱的溫度冷卻時, 硫化錳重新沉淀在奧氏體晶界上	使彈簧報廢: (1) 急劇降低機械性能, 特別是韌性和塑性, 經不起一擊; (2) 淬火時變形大, 很易開裂; (3) 淬火後內應力大	不可补救的缺陷。唯一的防止辦法是: 淬火加熱, 以及淬火前的彎片、熱卷等各種加熱都要嚴格控制

(續附表 1)

缺陷性质	测定方法	产生缺陷的主要原因	缺陷带来的危害	防止及补救措施
淬 裂	(1) 目测; (2) 低倍检查; (3) 探伤	(1) 淬火时的組織 应力和热应力; (2) 鋼的过热、过 烧	使弹簧报废	不能补救。防止淬裂应采取如下 措施:(1)尽量在油中淬火,不在水 中淬火;(2)采取措施,杜絕过热、过 烧现象发生;(3)采用等温淬火;(4) 淬硬的弹簧在重新淬火时缓慢加热
淬火硬度 不够	(1) 硬度测定; (2) 显微組織分 析	淬火加热温度过低 (低于 A_{c3}), 铁素体 未完全溶解	机械性能(特别是屈 服强度和疲劳极限)下 降	补救时,重新按正常规范淬火
軟 点	在不同部位測定硬 度	(1) 不够强烈的 冷却;(2) 局部脱 碳;(3) 产生氧化 皮;(4) 表面被渣 滓污染;(5) 冷却 时零件互相接触	显著降低屈服强度及 疲劳极限	相应的补救措施为:(1)重新在較 强烈的冷却剂中淬火,或略提高淬 火温度;(2)不可补救;(3)清除 氧化皮后重新淬火;(4)清除表面 渣滓后重新淬火;(5)改进工夹具 或装炉方式,使零件不互相接触

附表 2 按YB 8—59规定的热轧扁形及螺旋弹簧鋼的25个鋼号

序号	鋼 号	化 学 成 分, %									热处理状态	$\sigma_{0.2}$	σ_b	δ_{10}	ψ	H_B
		碳	硅	锰	铬	镍	铜	钒	硫	磷		kG/mm ²	%	(热軋 状态) (不大 于)		
									不 大 于			不 小 于				
1*	65	0.62 0.72	0.17 0.37	0.50 0.80	≤0.25	≤0.25	—	—	0.045	0.040	840℃ 淬油 480℃ 回火	80	100	9	35	255
2	70	0.67 0.75	0.17 0.37	0.50 0.80	≤0.25	≤0.25	—	—	0.045	0.040	830℃ 淬油 480℃ 回火	85	105	8	30	269
3	75	0.72 0.80	0.17 0.37	0.50 0.80	≤0.25	≤0.30	—	—	0.045	0.040	820℃ 淬油 480℃ 回火	90	110	7	30	285
4	85	0.82 0.90	0.17 0.37	0.50 0.80	≤0.25	≤0.30	—	—	0.045	0.040	820℃ 淬油 480℃ 回火	100	115	6	30	302
5	60Mn	0.57 0.65	0.17 0.37	0.70 1.00	≤0.25	≤0.25	—	—	0.045	0.040	830℃ 淬油 480℃ 回火	80	100	9	35	269
6*	65Mn	0.62 0.70	0.17 0.37	0.90 1.20	≤0.25	≤0.25	—	—	0.045	0.040	830℃ 淬油 480℃ 回火	80	100	8	30	269
7	55MnSi	0.52 0.60	0.50 0.80	0.60 0.90	≤0.25	≤0.40	—	—	0.045	0.040	820℃ 淬油 480℃ 回火	80	100	8	30	285
8	55SiMn	0.50 0.60	1.30 1.80	0.80 1.00	≤0.30	≤0.40	—	—	0.045	0.040	880℃ 淬油 460℃ 回火	120	130	6	30	285
9	60SiMn	0.55 0.65	1.30 1.80	0.80 1.00	≤0.30	≤0.40	—	—	0.045	0.040	860℃ 淬油 460℃ 回火	120	130	5	25	285
10	60SiMnA	0.56 0.64	1.30 1.80	0.80 1.00	≤0.30	≤0.40	—	—	0.030	0.035	860℃ 淬油 460℃ 回火	140	160	5	25	285
11	50Si2Mn	0.47 0.55	1.50 2.00	0.60 0.90	≤0.30	≤0.40	—	—	0.045	0.040	870℃ 淬油或水 460℃ 回火	110	120	6	30	285
12*	55Si2Mn	0.52 0.60	1.50 2.00	0.60 0.90	≤0.30	≤0.40	—	—	0.045	0.040	870℃ 淬油或水 460℃ 回火	120	130	6	30	285
13	60Si2Mn	0.57 0.65	1.50 2.00	0.60 0.90	≤0.30	≤0.40	—	—	0.045	0.040	870℃ 淬油 460℃ 回火	120	130	5	25	302
14*	60Si2MnA	0.56 0.64	1.60 2.00	0.60 0.90	≤0.30	≤0.40	—	—	0.030	0.035	870℃ 淬油 460℃ 回火	140	160	5	20	302

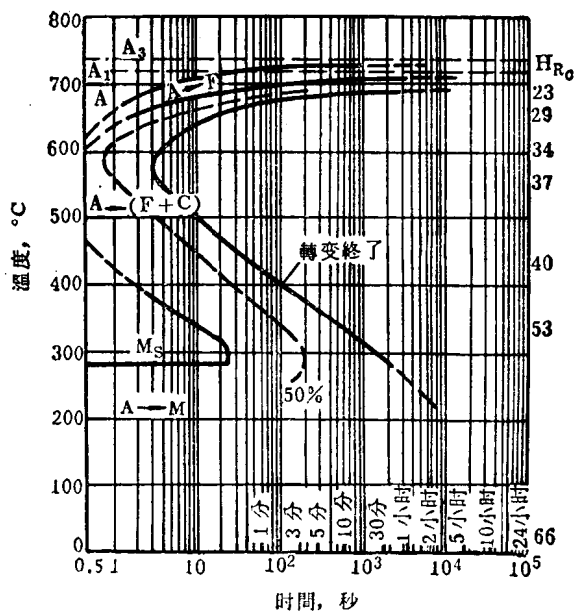
(續附表 2)

序号	鋼 号	化 学 成 分, %								热处理状态	$\sigma_{0.2}$	σ_b	δ_{10}	ψ	H_B
		碳	硅	锰	铬	镍	铜	钒	硫		磷	kG/mm ²	%	(热軋 状态)	(不大 于)
									不 大 于		不 小 于				
15	63Si2MnA	$\frac{0.60}{0.65}$	$\frac{1.80}{2.20}$	$\frac{0.60}{0.90}$	≤ 0.30	≤ 0.40	—	—	0.030	0.035	860℃ 淬油 460℃ 回火	140	160	5 20	302
16	70Si3MnA	$\frac{0.66}{0.74}$	$\frac{2.40}{2.80}$	$\frac{0.60}{0.90}$	≤ 0.30	≤ 0.40	—	—	0.030	0.035	860℃ 淬油 420℃ 回火	160	180	5 20	302
17	60Si2CrA	$\frac{0.56}{0.64}$	$\frac{1.40}{1.80}$	$\frac{0.40}{0.70}$	$\frac{0.70}{1.00}$	≤ 0.40	—	—	0.030	0.035	870℃ 淬油 420℃ 回火	160	180	5 20	321
18	65SiCrA	$\frac{0.62}{0.70}$	$\frac{1.20}{1.50}$	$\frac{0.40}{0.70}$	$\frac{0.40}{0.60}$	≤ 0.40	—	—	0.030	0.035	850℃ 淬油 450—500℃回火	130/ 120	170/ 150	5 25	302
19	60 Si2CrVA	$\frac{0.56}{0.64}$	$\frac{1.40}{1.80}$	$\frac{0.40}{0.70}$	$\frac{0.90}{1.20}$	≤ 0.40	—	$\frac{0.10}{0.20}$	0.030	0.035	850℃ 淬油 410℃ 回火	170	190	5 20	302
20	65 Si2MnWA	$\frac{0.61}{0.69}$	$\frac{1.50}{2.00}$	$\frac{0.70}{1.00}$	≤ 0.30	≤ 0.40	$\frac{0.80}{1.20}$	—	0.030	0.035	850℃ 淬油 420℃ 回火	170	190	5 20	302
21	50CrMn	$\frac{0.46}{0.54}$	$\frac{0.17}{0.37}$	$\frac{0.70}{1.00}$	$\frac{0.90}{1.20}$	≤ 0.40	—	—	0.045	0.040	840℃ 淬油 490℃ 回火	110	130	5 35	302
22	50CrMnA	$\frac{0.46}{0.54}$	$\frac{0.17}{0.37}$	$\frac{0.80}{1.00}$	$\frac{0.95}{1.20}$	≤ 0.40	—	—	0.030	0.035	840℃ 淬油 490℃ 回火	120	130	6 35	302
23*	50CrVA	$\frac{0.46}{0.54}$	$\frac{0.17}{0.37}$	$\frac{0.80}{1.00}$	$\frac{0.80}{1.10}$	≤ 0.40	—	$\frac{0.10}{0.20}$	0.030	0.035	850℃ 淬油 520℃ 回火	110	130	10 45	302
24	50 SiMnVA	$\frac{0.48}{0.55}$	$\frac{0.17}{0.37}$	$\frac{0.80}{1.00}$	$\frac{0.95}{1.20}$	≤ 0.40	—	$\frac{0.15}{0.25}$	0.030	0.035	850℃ 淬油 520℃ 回火	120	130	6 35	321
25	30 W4Cr2VA	$\frac{0.26}{0.34}$	$\frac{0.17}{0.37}$	≤ 0.40	$\frac{2.00}{2.50}$	≤ 0.40	$\frac{4.00}{4.50}$	$\frac{0.50}{0.80}$	0.030	0.035	1,050— 1,100℃淬油 550—650℃ 回火	—	170/ 150	—	321

注：1. 序号数字上加有星号（*）者为石油机械采用的牌号。

2. 所列机械性能为钢厂保证的机械性能。

代 号	相 近 于					熔 炼 方 法	
	旧 钢 号	苏 联 钢 号	美 国 钢 号	民 主 德 国 钢 号	日 本 钢 号	电 炉、平炉或其它 熔炼方法	
65	65	65	SAE 1065 AISI C1065	C65	SWR 7		
YB8—59 規 定 的 化 学 成 分 (%)	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
	0.62—0.70	0.17—0.37	0.50—0.80	≤0.25	≤0.25	≤0.040	≤0.045
YB8—59 保 証 的 机 械 性 能	热 处 理 状 态	截 面 尺 寸 (mm)	σ_b (kG/mm ²)	σ_s (kG/mm ²)	δ_{10} (%)	ψ (%)	a_k (kG-m/cm ²)
			不 小 于				
	840°C 淬油 480°C 回火	試 样	100	80	9	35	—



过冷奥氏体等温转变曲线 [5]

C	Si	Mn	Cr	Ni	加热温度
0.64	0.22	0.68	—	—	—

临 界 点	Ac ₃		Ar ₃		Ac ₁	Ar ₁	Ms		
(°C) [13]	752		730		727	696	270		
线膨胀系数	20—100°C	20—200°C	20—300°C	200—400°C	比 热 C (cal/g·°C) [6]	0—100°C	0—200°C	0—400°C	0—600°C
α·10 ⁶ [6]	11.8	12.6	13.3	14.0		0.115	0.116	0.125	0.137
导 热 率 λ (cal/cm·s·°C) [13]	0—100°C	500°C			导温率α(= $\frac{\lambda}{\gamma \cdot c}$) (cm ² /s)	100°C	200°C	400°C	500°C
	0.165	0.075				0.180	0.142	0.088	0.074

(續表)

比 重 [6]		磁 性				抗 大 气 腐 蚀 力			
7.81		有				耐腐蝕性等級7—8級			
正弹性模数 E	20℃					剪 切 模 数 G	20℃		
(kG/mm ²) [1]①	21,000					(kG/mm ²) [1]①	8,080		
① 經淬火、回火处理, $\sigma_b=100\text{kG/mm}^2$ 。									
推荐的热处理工艺参数 [1] [57]									
弹 簧 类 别	操 作 工 序		加热温度 (°C)		冷 却 剂		硬 度		
扁形弹簧	弯	片	850—880①		空 油 任	气 或 水 意	—		
	淬	火	780—830②				—		
	回	火	320—420③				H _{RC} 35—48		
热卷螺旋弹簧	热	卷	830—890		空 油 任	气 或 水 意	—		
	淬	火	800—840				—		
	回	火	320—420③				H _{RC} 35—48		
冷卷后不經淬火回火的螺旋弹簧	冷卷后的低温回火		210—360		空 气		—		
冷卷后經淬火回火的螺旋弹簧	預 先 退 火		680—700		以30—50°C/h 的速度 冷至600°C, 然后空冷		H _B ≤ 210		
	冷	卷	—				—		
	淬 回	火 火	800—840 320—420③				— H _{RC} 35—48		
① 尽量采用較低的温度。只有在用手工弯片时, 才能采用温度上限。 ② 利用弯片的余热, 一般不再重新加热。 ③ 具体温度根据要求的硬度而定。									
常 温 时 的 机 械 性 能									
热 处 理 状 态	截面尺寸 (mm)	取样部位	σ_b (kG/mm ²)	σ_s (kG/mm ²)	δ_5 (%)	ψ (%)	α_K (kG-m/cm ²)	H _B	资 料 来 源
热 軋 后	各种截面	心部	≥66	≥38	≥10	≥30	—	≤255	[6]
820°C 退 火	—	—	82.5	42.5	$\delta_4=22$	33	—	—	[1]
正 火	<80	—	≥71	≥42	≥10	≥30	—	—	[38]
820°C 正 火	—	—	83.9	42.5	$\delta_4=19$	33	—	—	[1]
840°C淬油, 410°C回火	—	—	≥100	≥80	$\delta_{10} \geq 9$	≥35	—	H _{RC} 42-48	[32]
820°C淬油, 600°C回火	—	—	97.9	58.9	19	42	—	—	[1]
疲 劳 强 度 [1]									
試 驗 用 鋼 的 含 碳 量 (%)	σ_b	σ_s	δ	σ_{-1}	备 注				
	(kG/mm ²)		(%)	(kG/mm ²)					
0.65	78.9	36	17	30.2	試样直径15mm				
0.70	86	—	—	47.5	—				
—	156—160	—	—	50—65	成品弹簧的試驗結果				

物理性能补充資料 [1]

线膨胀系数 $\alpha \cdot 10^6$	20—50°C	20—100°C	20—150°C	20—200°C	20—250°C	20—300°C
	10.74	11.04	11.34	11.57	11.88	12.31
	20—650°C	20—700°C	20—800°C	20—900°C	20—1,000°C	20—1,100°C
	14.54	14.65	14.68	13.87	14.76	15.0
注: 試驗用鋼的化学成分为0.65%C, 0.12%Mn, 0.09%Si, 0.01%P, 0.03%S						

导热率 λ (cal/cm·s·°C)	300°C	400°C	500°C	550°C	600°C	650°C
	0.138	0.158	0.195	0.210	0.231	0.445
	660°C	675°C	700°C	800°C	900°C	950°C
	0.838	0.195	0.169	0.168	0.163	0.159
注: 試驗用鋼的化学成分为0.67%C, 0.31%Mn, 0.078%Si, 0.12%P, 0.25%S						

工 艺 特 性

鍛 造	始鍛溫度1,200—1,250°C, 終鍛溫度800—850°C。截面大于75毫米的鍛件, 鍛后緩冷 (堆冷)
焊 接	焊接性不好。形成裂縫的傾向很大。一般不应焊接。当寬度足够时, 可用电阻法进行点焊; 但实际上很少采用
切 削	$H_B = 183-241$ 时, 相对加工性为45%
冷 变 形 性	低
热 处 理	淬透性低。直径超过7—12毫米时, 淬油不能淬透。淬水时, 有形成裂紋的傾向。一般采用油淬, 截面較大时采用水淬油冷。不感受回火脆性
其 他	

使 用 范 围

半 成 品 种 类	棒料、鍛件、鋼帶、鋼絲、彈簧鋼絲
加工成型方式	热状态下鍛造或弯片 (扁形彈簧)、卷簧 (螺旋彈簧); 冷状态下拉絲、卷簧; 在金属切削机床上加工零件
主要使用状态	淬火并中溫回火
应 用 举 例	用于制造断面較小、形状簡單、受力不大的扁形、螺旋形彈簧及彈簧式零件 (彈簧凡尔、彈簧环、垫圈、U形卡等)