

高强度圆环链实用技术

GAOQIANGDU YUANHUANLIAN SHIYONG JISHU

王维喜 张亚龙 王东凤 编著



冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

高强度圆环链实用技术

王维喜 张亚龙 王东风 编著

北 京

冶金工业出版社

2018

内 容 提 要

本书共分4章,第1章详细介绍了矿用高强度圆环链的工况条件、性能要求、品种规格、材料选择、制造技术、失效分析、研究进展、安全使用和维护;第2~4章分别介绍了水泥工业用链条、火力发电厂捞渣机链条和起重吊装链条的制造、使用等相关内容。

本书实用性强,可供从事有关链条生产和使用的工程技术人员、管理人员及技术工人参考,也可供从事链条研究的大专院校和科研院所的有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高强度圆环链实用技术/王维喜,张亚龙,王东风编著. —
北京:冶金工业出版社,2018.6

ISBN 978-7-5024-7786-8

I. ①高… II. ①王… ②张… ③王… III. ①圆环链
IV. ①TH237

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 113584 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 夏小雪 美术编辑 吕欣童 版式设计 禹蕊

责任校对 郑娟 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-7786-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;固安华明印业有限公司印刷

2018年6月第1版,2018年6月第1次印刷

169mm×239mm;9印张;174千字;133页

34.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

高强度圆环链用途十分广泛，在我国国民经济高速发展和快速的现代化建设中发挥着重要的作用。按照其不同的性能和规格可用于不同的行业和不同的工况条件，具体如下：

(1) 用于物料输送机械的传动链和载荷的牵引链，如煤矿刮板输送机、转载机、刨煤机、矿车连接用链条，火力发电厂的捞渣机用链条和水泥厂的斗式提升机用链条等。这些链条是属于同一类型的。相比之下，矿用高强度圆环链服役条件复杂、恶劣，综合力学性能要求高，制造技术具有代表性。

(2) 用于起重吊链，如冶金、机械、矿山、建筑、建材、动力、港口、铁路、军事、核电、采石等行业起重吊装用链条。这是属于另一类型的链条。

此外，还有用于船舶、农业、捕鱼、汽车防滑和轮胎保护的圆环链等。

本书主要较为详细地论述了矿用高强度圆环链的工况条件，性能要求，品种规格，材料选择、制造技术、失效分析、研究进展、安全使用和维护。对水泥工业用圆环链、发电厂捞渣机用圆环链和起重吊链的制造、使用等也做了相关的论述。

由于钢制圆环链用途不同，它的性能要求、规格尺寸、几何形状、制造用钢以及制造工艺等也各有不同。目前，关于圆环链的技术资料除有关标准和少量论文外，尚未见到有关书籍详细介绍，特写此书。希望能为我国高强度圆环链制造技术的发展和使用寿命水平的提高起到抛砖引玉和推动引领的作用。

本书在撰写过程中引用了有关标准的部分内容，由于标准总是在不断更新，希望读者阅读时注意参考有关标准的最新版本内容。

本书的出版得到了有关行业专家、教授和同事的帮助与支持，在此表示衷心感谢。同时，非常感谢冶金工业出版社对本书出版的支持和付出。

由于作者水平有限，疏漏和不当之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

王维喜

2018年2月

目 录

1 矿用高强度圆环链	1
1.1 矿用高强度圆环链的应用和服役条件	1
1.2 矿用高强度圆环链的种类和规格	2
1.2.1 圆环链	2
1.2.2 扁平链	4
1.3 矿用高强度圆环链的力学性能	6
1.4 矿用高强度圆环链用钢	12
1.4.1 矿用高强度圆环链用钢标准	12
1.4.2 矿用高强度圆环链用钢的质量要求	12
1.4.3 矿用高强度圆环链用钢现状	13
1.4.4 25MnV 钢、52 钢、54 钢的化学成分、力学性能及 54 钢交货状态下的金相组织	14
1.4.5 023 专利防腐链条钢的化学成分、淬透性要求和硬度要求	15
1.4.6 合金元素在钢中的作用	17
1.4.7 矿用高强度圆环链用钢的讨论及发展	21
1.5 矿用高强度圆环链的制造	23
1.5.1 备料	23
1.5.2 下料	26
1.5.3 链条的编结	26
1.5.4 链条的抛丸	27
1.5.5 链条的焊接	28
1.5.6 链条的焊后检查	33
1.5.7 链条的初次校正	33
1.5.8 链条的一次修接	34
1.5.9 链条的热处理	34
1.5.10 链条的最终校正	43
1.5.11 链条的二次修接	44
1.5.12 链条的成品检查	45
1.5.13 链条的测长和配对	45

1.6 矿用高强度圆环链的尺寸设计	46
1.6.1 圆环链的成品尺寸设计	46
1.6.2 圆环链制造各工序尺寸的确定	46
1.6.3 紧凑链(扁平链)尺寸的设计	48
1.7 矿用高强度圆环链力学性能的计算	49
1.8 矿用高强度圆环链的使用寿命	49
1.9 矿用高强度圆环链的主要失效形式	51
1.10 矿用高强度圆环链的失效分析	52
1.11 矿用高强度圆环链的研究	53
1.11.1 链环的受力分析	53
1.11.2 链环的应力分布	54
1.11.3 链环应力的测定方法	55
1.11.4 链环中的残余应力及其测定方法	55
1.11.5 链环残余应力的消除方法	57
1.11.6 链条的疲劳特性及影响疲劳寿命的因素	57
1.11.7 矿用高强度圆环链的断裂韧性	61
1.11.8 链条的应力腐蚀	61
1.12 矿用高强度圆环链制链技术的发展	63
1.12.1 链条规格不断增大	63
1.12.2 对链条塑韧性更加重视	63
1.12.3 链环几何形状的优化	64
1.12.4 研制新型结构的链条	64
1.12.5 防腐钢链条的应用	68
1.12.6 热浸锌链条的应用	70
1.12.7 智能型链条的研制	70
1.13 矿用高强度圆环链的正确使用和维护	70
1.13.1 正确选择链条并配对使用、合理安装	70
1.13.2 链条的预张紧	71
1.13.3 链条的试运转	75
1.13.4 链条的检测与检查	75
1.13.5 链条的防腐	78
1.13.6 链条的运输	78
1.14 接链环	78
1.14.1 三种常用接链环的规格、尺寸和力学性能	79
1.14.2 接链环用钢	84

1.14.3 接链环的制造	84
1.14.4 接链环的正确安装和使用	84
1.15 小结	85
2 水泥工业用圆环链	86
2.1 圆环链的服役条件	86
2.2 圆环链的力学性能要求	86
2.3 圆环链用钢	87
2.3.1 圆环链用钢要求	87
2.3.2 高强度圆环链用钢现状	87
2.3.3 渗碳圆环链用钢现状	88
2.4 圆环链的规格和尺寸	88
2.5 圆环链的制造	90
2.6 斗式提升机用链环钩	92
2.6.1 热编链环钩的尺寸和最小破断负荷	92
2.6.2 锻造链环钩的尺寸和最小破断负荷	94
2.6.3 链环钩用钢	94
2.6.4 链环钩的力学性能	95
2.6.5 链环钩的制造	95
2.6.6 和链环钩配套使用的定距板	95
2.7 水泥工业用提升机圆环链的安装、使用和维护修理	96
2.7.1 提升机链条的选用	96
2.7.2 提升机链条的组装	96
2.7.3 链条的预张紧	97
2.7.4 空载试运转	97
2.7.5 维护和修理	97
2.7.6 链条的贮存	98
3 捞渣机用圆环链	99
3.1 捞渣机链条的常用规格	99
3.2 链条力学性能要求	100
3.3 链条用钢要求	101
3.4 捞渣机链条的制造	101
3.5 捞渣机链条用接链环	102
3.6 捞渣机链条的安装、使用和维护	102

4 起重吊链	104
4.1 起重吊链的术语及定义	105
4.2 起重吊链的规格和种类	107
4.3 起重吊链的工况条件及其力学性能要求	110
4.4 起重吊链链条用钢	112
4.5 起重吊链链条的制造	113
4.5.1 钢材选择	113
4.5.2 制造工艺	113
4.5.3 制造设备	114
4.6 起重吊链的附件	116
4.6.1 主环	116
4.6.2 中间环 (连接环)	118
4.6.3 锻造环眼吊钩	121
4.7 吊链的安全使用	124
4.8 吊链的更换、修理和维护	128
4.8.1 吊链的更换	128
4.8.2 吊链的修理	129
4.8.3 吊链的维护	129
4.9 吊链技术的发展趋势	129
参考文献	131

1 矿用高强度圆环链

1.1 矿用高强度圆环链的应用和服役条件

煤炭是全球能源结构中最重要燃料，目前还没有一种能够有效替代煤炭的燃料。我国是世界采煤大国，采煤量约占全球总量的一半。煤炭在我国经济快速发展中起着非常重要的作用。矿用高强度圆环链是煤矿井下刮板输送机、转载机和刨煤机传递动力的关键件和易损件，其中在刮板输送机上用量最大。图 1-1 所示为矿用高强度圆环链在煤矿井下刮板输送机上工作。

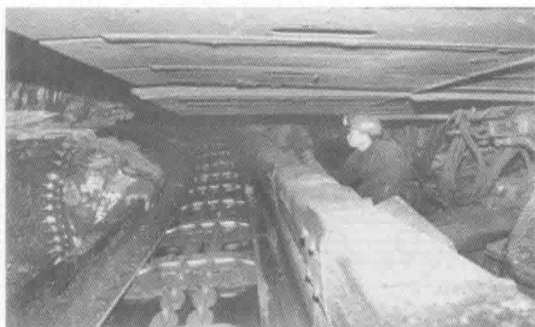


图 1-1 矿用高强度圆环链在煤矿井下工作

建设现代化、高产高效的大型煤矿，对采煤作业机械化设备提出了更高的要求，刮板输送机是综合机械化采煤三机（采煤机、刮板输送机和液压支架）配套设备中的重要组成部分。刮板输送机的发展和质量与矿用高强度圆环链的发展和质量息息相关，在某种意义上取决于矿用高强度圆环链。较大、较长的采煤工作面需要规格较大、强度更高的链条，工作面设备的高成本需要链条具有较长的使用寿命和较高的可靠性，连续生产不容许较长的维修时间。生产高质量的矿用高强度圆环链和对链条的正确使用和维护对保证煤矿采煤的高产、高效具有十分重要的意义。

刮板输送机在井下工作时，环境恶劣，矿用高强度圆环链受力复杂，除循环承载承受拉-拉疲劳外，遇有刮卡或较大岩石、大块煤落下时还会受到冲击载荷。链环与链轮接触时，平环肩顶部外侧（外表面）受到链轮轮齿的压力及磨损，顶部内侧（内表面）除受压力外，由于链环在负载状态下通过链轮时不断弯折，

在平环与立环的连接部位还会产生磨损和接触疲劳。链条在运行中立环的直边部分与溜槽产生磨损。链条在井下与潮湿的煤粉、岩粉及腐蚀性气体接触，造成了电化学腐蚀的条件，使链条受到腐蚀。由于链条设计、制造、使用、维护和工作条件的影响会导致各种链条失效的出现（包括应力腐蚀和腐蚀疲劳断裂），将会严重影响煤矿的安全和产量，据称我国某大型煤矿在采煤作业中刮板输送机断链一次将少生产 5000t 煤，给煤矿造成重大的经济损失。因此，矿用高强度圆环链不仅需要具有高强度（静载强度和动载强度）、高韧性、耐磨损、耐腐蚀等综合力学性能^[1]，同时还需要正确的使用和维护。

1.2 矿用高强度圆环链的种类和规格

1.2.1 圆环链

按照国家标准 GB/T 12718—2009《矿用高强度圆环链》的规定^[2]，矿用高强度圆环链的型式和尺寸如图 1-2 所示，实物照片如图 1-3 所示，其规格尺寸见表 1-1。

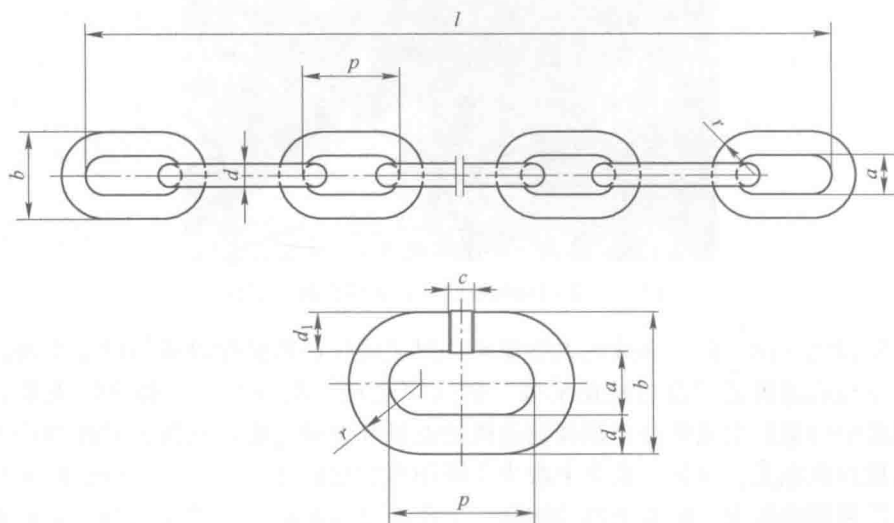


图 1-2 矿用高强度圆环链及链环的型式和尺寸

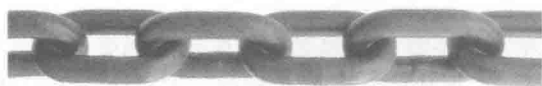


图 1-3 矿用高强度圆环链实物图

表 1-1 GB/T 12718 标准矿用高强度圆环链的规格尺寸

规格 (d×t) /mm×mm	直径/mm		节距/mm		宽度/mm		圆弧半径 r_0^{+2} /mm	单位长度质量 /kg·m ⁻¹
	d	公差	p	公差	内宽 a (min)	外宽 b (max)		
10×40	10	±0.4	40	±0.5	12	34	15	约 1.9
14×50	14	±0.4	50	±0.5	17	48	22	约 4.0
18×64	18	±0.5	64	±0.6	21	60	28	约 6.6
22×86	22	±0.7	86	±0.9	26	74	34	约 9.5
24×86	24	±0.8	86	±0.9	28	79	37	约 11.6
26×92	26	±0.8	92	±0.9	30	86	40	约 13.7
30×108	30	±0.9	108	±1.0	34	98	46	约 18
34×126	34	±1.0	126	±1.2	38	109	52	约 22.7
38×137	38	±1.1	137	±1.4	42	121	58	约 29
42×152	42	±1.3	152	±1.5	46	133	64	约 35.3

按照德国标准 DIN 22252—2012《矿用连续输送机和开采设备用圆环链》的规定^[3]，矿用高强度圆环链的规格尺寸见表 1-2、表 1-3 及图 1-4。表 1-3 用于同 DIN 22253 标准连接环匹配的短链条链环宽度和圆弧半径尺寸，其余尺寸同表 1-2。

表 1-2 DIN 22252 标准矿用高强度圆环链的规格尺寸

规格 (d×t) /mm×mm	直径/mm		节距/mm		宽度/mm		半径 r/mm		单位长度 质量 /kg·m ⁻¹
	d	公差	t	公差	内宽 b ₁ (min)	外宽 b ₂ (max)	min	max	
14×50	14	±0.4	50	±0.5	17	48	22	24	4
18×64	18	±0.5	64	±0.6	21	60	28	30	6.6
19×64.5	19	±0.6	64.5	±0.6	22	63	29.5	31.5	7.4
22×86	22	±0.7	86	±0.9	26	73	34.5	36.5	9.5
24×86	24	±0.7	86	±0.9	28	79	37.5	39.5	11.6
24×87.5	24	±0.7	87.5	±0.9	28	79	37.5	39.5	11.5
26×92	26	±0.8	92	±0.9	30	85	40	42.5	13.7
30×108	30	±0.9	108	±1.1	34	97	46	48.5	18
34×126	34	±1.0	126	±1.3	38	110	52	55	22.7
38×137	38	±1.1	137	±1.4	42	122	58	61	29
42×137	42	±1.1	137	±1.4	48	139	65	69.5	36.9

表 1-3 DIN 22252 标准矿用高强度圆环链短链条的链环宽度和圆弧半径

规格 ($d \times t$) /mm×mm	宽度/mm		半径 r_0^{+2} /mm
	内宽 b_1 (min)	外宽 b_2 (max)	
14×50	17	48	22
18×64	22	61	28.5
19×64.5	23	65	30.5
22×86	27	75	35.5
24×86	30	82	39
24×87.5	30	82	39
26×92	32	88	42
30×108	37	102	49
34×126	42	116	56

注：每条链的链环数为 5、7、9、11、13、15 环的链条为短链条。从表 1-2 和表 1-3 可看出短链条的内宽、外宽和圆弧半径都比长链条的大（14×50 链条除外）。

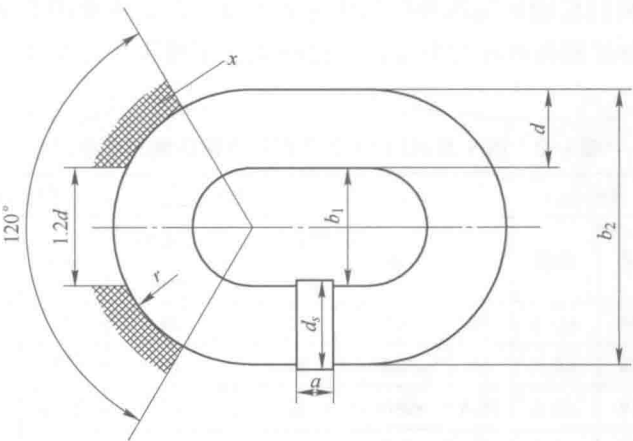


图 1-4 DIN 22252 标准链环尺寸
(X 所指的区域为试验区，即与链轮接触区)

从表 1-1~表 1-3 和图 1-2、图 1-4 也可看出我国的国家标准 GB/T 12718—2009 和德国标准 DIN 22252—2012 在尺寸要求上不是完全一样的^[4]。

1.2.2 扁平链

在大规格链条中扁平链和紧凑链的使用比例越来越高。扁平链是按德国标准 DIN 22255 《矿山用连续输送机平环链》（Flat link chains for use in continuous con-

veyors in mining)^[5]生产的。它是由焊接圆环和焊接扁平环（或锻造扁平环）相间组成的，如图 1-5 所示，其实物照片如图 1-6 所示。扁平链的规格尺寸见表 1-4。紧凑链与扁平链类似，只是紧凑链的立环多为锻造环且节距也比焊接环短。

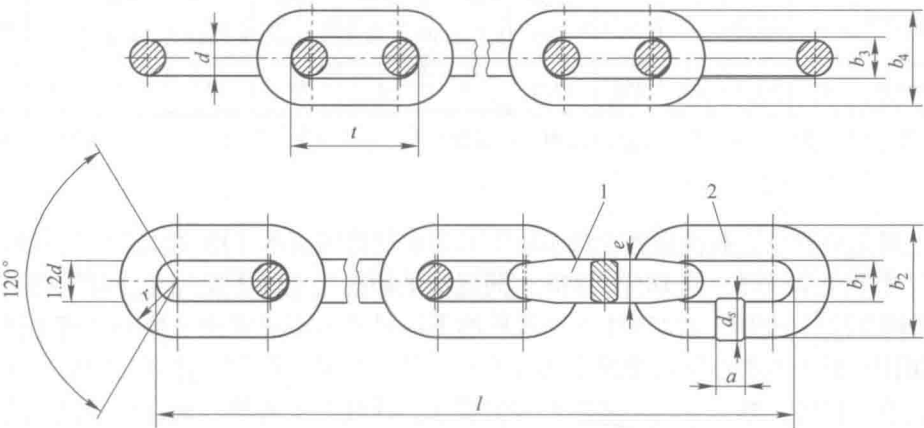


图 1-5 扁平链
1—立环；2—平环



图 1-6 扁平链实物图

表 1-4 DIN 22255—2012 标准矿用扁平链的规格尺寸

规格 ($d \times t$) /mm×mm	直径/mm		厚度 $e(\max)$ /mm	节距/mm		宽度/mm				单位 长度 重量 /kg·m ⁻¹	平环半径 r/mm	
	d	公差		t	极限 偏差	平环		立环			min	max
						内宽 $b_1(\min)$	外宽 $b_2(\max)$	内宽 $b_3(\min)$	外宽 $b_4(\max)$			
26×92	26	±0.8	30	92	±0.9	30.1	87	30	75	13.7	40	43.5
30×108	30	±0.9	34	108	±1.1	34.1	99	34	87	18	46	49.5
34×126	34	±1.0	38	126	±1.3	38.1	111	38	99	22.7	52	55.5
38×126	38	±1.1	42	126	±1.3	42.1	123	42	111	30.1	57.5	61.5
38×137	38	±1.1	42	137	±1.4	42.1	123	42	111	29	57.5	61.5
38×146	38	±1.1	42	146	±1.5	42.1	123	42	111	27.6	57.5	61.5
42×137	42	±1.1	48.5	137	±1.4	48.6	139	46	115	37	65	69.5
42×146	42	±1.1	48.5	146	±1.5	48.6	139	46	115	36	65	69.5

续表 1-4

规格 ($d \times t$) /mm×mm	直径/mm		厚度 $e(\max)$ /mm	节距/mm		宽度/mm				单位 长度 重量 /kg·m ⁻¹	平环半径 r/mm	
	d	公差		t	极限 偏差	平环		立环			min	max
						内宽 $b_1(\min)$	外宽 $b_2(\max)$	内宽 $b_3(\min)$	外宽 $b_4(\max)$			
48×152	48	±1.4	56	152	±1.5	A	A	54	127	47	A	A

注：A 标注的尺寸 b_1 、 b_2 、 $r_{\min}$ 与 $r_{\max}$ 和生产过程有关，需要和生产协商确定； $r_{\min} = 0.5 \times (b_1 + 2 \times d_{\min})$ ， $r_{\max} = 0.5 \times b_2$ 。

以上可看出，我国国家标准 GB/T 12718 和德国标准 DIN 22252 中同规格链环尺寸不完全一样，同 DIN 22255 中同规格平环的尺寸也不是完全一样。德国标准 DIN 22252 和 DIN 22255 中的同规格平环尺寸也不是完全一样的。链条尺寸在保证有利于力学性能的情况下还要有利于使用性能。例如，链环之间应保证灵活，不易打折、弯卡等。二者对尺寸的要求，往往是矛盾的，最佳尺寸是二者兼顾的平衡点，同时还要考虑和链轮的合理匹配。

1.3 矿用高强度圆环链的力学性能

按照国家标准 GB/T 12718—2009 的要求，矿用高强度圆环链的质量等级分 B、C 和 D 三种，其力学性能应分别达到表 1-5 中的要求。

表 1-5 矿用高强度圆环链的力学性能要求

质量 等级	最小破断 应力 /N·mm ⁻²	试验力下 伸长率 (max)/%	破断时的 伸长率 (min)/%	试验应力 /N·mm ⁻²	焊接处的 缺口冲击值 A_{KU}/J	疲劳极限应力 (疲劳次数≥30000 次) /N·mm ⁻²	
						上限	下限
B	630	1.4	12	500	≥15	250	50
C	800	1.6	12	640	≥15	330	50
D	1000	1.9	12	800	由制造厂与 用户协商确定	400	50

从表 1-5 可看出链条的试验应力是最小破断应力的 0.8 倍，疲劳极限应力的上限值约为最小破断应力的 0.4 倍。即疲劳极限应力的上限值约为试验应力的一半。

疲劳负荷作用的频率为 200~1000 次/分钟 (min)，型式检验时为 500 次/分钟 (min)。

表 1-6 为国标 GB/T 12718—2009 矿用高强度圆环链力学性能试验时的试验

负荷及破断负荷。表 1-7 为弯曲挠度值。

表 1-6 国标 GB/T 12718—2009 矿用高强度圆环链力学性能试验时的试验负荷及破断负荷

圆环链规格 ($d \times p$)/mm×mm	B 级		C 级		D 级	
	试验负荷 /kN	破断负荷 (min)/kN	试验负荷 /kN	破断负荷 (min)/kN	试验负荷 /kN	破断负荷 (min)/kN
10×40	85	110	100	130	130	160
14×50	150	190	200	250	250	310
18×64	260	320	330	410	410	510
22×86	380	480	490	610	610	760
24×86	460	570	580	720	720	900
26×92	540	670	680	850	850	1060
30×108	710	890	900	1130	1130	1410
34×126	900	1140	1160	1450	1450	1810
38×137	1130	1420	1450	1810	1810	2270
42×152	1390	1740	1770	2220	2220	2770

表 1-7 国标 GB/T 12718—2009 矿用高强度圆环链的弯曲挠度值

圆环链规格($d \times p$)/mm×mm	10×40	14×50	18×64	22×86	24×86	26×92	30×108	34×126	38×137	42×152
挠度值 f /mm	9	11	14	18	20	21	24	30	34	38

注：链环变形达到表中挠度值时不应有断裂、目视裂纹或其他缺陷。

图 1-7 为链条力学性能指标在力-伸长曲线图上的对应关系。

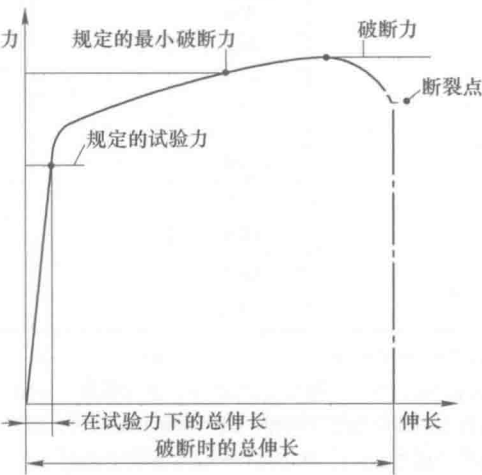


图 1-7 链条力学性能指标在力-伸长曲线图上的对应关系

表 1-8 为国标 GB/T 12718—2009 疲劳试验的上、下限载荷。

表 1-8 国标 GB/T 12718—2009 疲劳试验的上、下限载荷

圆环链规格 ($d\times p$) /mm×mm	B 级		C 级		D 级	
	下限载荷/kN	上限载荷/kN	下限载荷/kN	上限载荷/kN	下限载荷/kN	上限载荷/kN
10×40	8	40	8	53	8	65
14×50	15	77	15	102	15	123
18×64	25	127	25	168	25	204
22×86	38	190	38	251	38	304
24×86	45	226	45	299	45	362
26×92	53	265	53	350	53	425
30×108	71	353	71	467	71	566
34×126	90	453	90	598	90	725
38×137	110	567	110	748	110	907
42×152	138	690	138	914	138	1108

表 1-9 为德国标准 DIN 22252—2012 对链条力学性能的要求。表 1-10 为德国标准 DIN 22252—2012 对链条疲劳试验上下限载荷的规定。

表 1-9 DIN 22252—2012 标准链条的力学性能

规格 ($d\times t$) /mm×mm	试验负荷 TF /kN	试验负荷下的 伸长率 (max)/%	破断负荷 (min)/kN	破断时的 伸长率 A (min)/%	挠度 f /mm	工作负荷 WF (max)/kN
14×50	185	1.6	246	14	14	154
18×64	305		407		18	254
19×64.5	340		454		19	283
22×86	456		608		22	380
24×86	543		724		24	452
24×87.5	543		724		24	452
26×92	637		850		26	531
30×108	848		1130		30	707
34×126	1090		1450		34	907
38×137	1360		1820		38	1130
42×137	1660		2220		42	1380

- 注：1. d ：链条材料直径； t ：链环节距。
2. 链条 V 形缺口冲击试验，对于公称尺寸 $\geq 26\text{mm}$ ，抗拉强度在 1097~1220MPa 的链条，在非时效的正常链环直边和顶部圆弧部位取样，试样带有 V 形缺口，每个材料批 3 个标准试样在室温下的缺口冲击功平均值为 $\geq 57\text{J}$ ，且任何一个值不得低于 40J。
3. 链条的破断强度为 $800\text{N}/\text{mm}^2$ 。
4. 链条硬度在 350HV10 到 390HV10 或者 345HBW10/3000 到 385HBW10/3000 之间。