

YB/T 050—93

《冶金设备用YNK齿轮减速器》 标准宣贯读本

李钊刚 编 著

中国标准出版社

YB/T 050—93《冶金设备用 YNK 齿轮减速器》

标准宣贯读本



中国标准出版社

(京)新登字 023 号

图书在版编目(CIP)数据

YB/T 050-93《冶金设备用 YNK 齿轮减速器》标准宣贯读本/李钊刚编著. —北京:中国标准出版社,1994.5

ISBN 7-5066-0951-7

I. Y… II. 李… III. 冶金设备-齿轮减速器-国家标准
-中国 N. TH132.46-65

中国标准出版社出版
(北京复外三里河)

中国标准出版社北京印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

版权专有 不得翻印

* *

开本 850×1168 1/32 印张 3% 字数 94 千字

1994 年 6 月第一版 1994 年 6 月第一次印刷

*

印数 1—4 500 定价 4.80 元

*

标 目 239—10

前 言

YB/T 050—93《冶金设备用 YNK 齿轮减速器》是包括 1~4 级圆柱齿轮减速器和 2~3 级圆锥、圆柱齿轮减速器的基本系列和多种派生系列在内的 18 种硬齿面通用减速器系列,是在吸取国外同类产品优点的基础上,结合国情、博采众长、发展创新、改进结构设计出的具有国际先进水平和本国技术特色的新产品。该产品除用于冶金行业外,还可广泛用于矿山、化工、建材、起重、运输、纺织、造纸、食品、塑料、橡胶、工程机械、能源等工业部门。

硬齿面是 70~80 年代世界减速器技术发展的一大趋势,我国近年来从无到有发展很快。我们发现,现在许多制造、选用和使用单位对这类减速器还是不够熟悉的。为了帮助有关单位更全面地了解制订 YB/T 050—93《冶金设备用 YNK 齿轮减速器》标准的指导思想,了解该产品的设计、制造、选型、使用等方面的特点,特别是使那些不熟悉硬齿面减速器特点的用户能从一开始就理解和掌握正确的选型和使用方法,避免走弯路,我们编写了本书,供有关同志参考。

本书除较详细地介绍本标准的基本情况外,重点介绍国外减速器的发展趋势、硬齿面减速器的特点、通用减速器的系列设计方法、空心轴型浮动传动装置的受力计算及使用方法、产品的强度选型方法及使用时应注意的几个问题等内容。其中披露了许多国外选型的实例,介绍了在国内发生过的因使用不当造成硬齿面减速器失效的典型实例。我们试图从不同角度较完整地介绍硬齿面减速器,以期对研究设计、制造、选用者都能有一定的参考价值。

本资料由李钊刚同志编写。限于笔者的经验及水平所限,文中错误之处在所难免,恳请广大读者给予指正。

编 者

1994 年 5 月

目 录

第一章 硬齿面减速器	1
第一节 国外减速器技术的发展趋势	1
第二节 硬齿面齿轮承载能力分析	5
第三节 硬齿面齿轮在冶金设备上的应用	10
第二章 标准基本情况	20
第一节 标准的制订情况	20
第二节 标准的编制原则、指导思想	21
第三节 标准的母型	23
第四节 范围、型式和主要技术参数	24
第五节 创新和优化设计	26
第六节 技术水平分析	30
第七节 轴伸	33
第八节 材料	33
第九节 关于标准文本的内容	34
第三章 选用方法	35
第一节 问题的提出	35
第二节 国外通用减速器选型实例	36
第三节 分析与计算	39
第四节 可靠度系数 K_R	41
第五节 启动系数 K_S	44
第六节 双向运转	44
第七节 校核轴伸承受的径向载荷	45
第八节 YNK 减速器选型的强度条件	45
第九节 热功率校核	45
第十节 订货卡(选型单)	47
第四章 一体式浮动传动装置	49
——空心轴型减速器的用法	49
第一节 装置的优缺点	49

第二节	空心轴型减速器的受力分析	50
第三节	装置的类型	55
第四节	装置的受力计算	55
第五节	浮动支承的型式	58
第五章	产品工业运行验证情况	59
第一节	测绘仿制产品	59
第二节	YNK 系列产品	61
第六章	硬齿面通用减速器使用时应注意的几个问题	63
第一节	从一系列事故谈起	63
第二节	输入轴细是硬齿面减速器的固有特点	64
第三节	对中超差的危害	66
第四节	液力耦合器的安装连接方式不容忽视	68
第五节	总结几点教训	72
附件一:	减速器的实际传动比	73
附件二:	顺昌水泥厂使用德国弗兰德减速器情况调查报告 (摘要)	87
附件三:	西马克公司 1993 年参与宝钢三期工程投标选用弗 兰德标准减速器情况	91
附件四:	斗式提升机配套减速器断轴失效分析	93

第一章 硬齿面减速器

第一节 国外减速器技术的发展趋势

70年代,国外减速器技术有了很大的发展。其中材料和制造工艺起到了关键性作用。

过去我们一般称齿面硬度 $\leq$ HB 350的齿轮为软齿面,齿面硬度 $>$ HB 350的齿轮为硬齿面。事实上,我国实际制造的调质齿轮的硬度一般都在HB 250以下,很少作到HB 280的,这就是我们现在所说的软齿面。由于滚刀质量的提高,可把齿坯硬度提高到HB 300~370的范围,有的把大轮硬度定的还稍低于HB 300,这一段硬度就是现在所说的中硬齿面。而渗碳淬火齿轮齿面硬度一般为HRC 58~63,由于体积大的齿轮淬火时冷却速度较慢,往往达不到这个硬度,一般也应在HRC 55以上。

现在齿轮副设计时,大、小齿轮硬度的组合可采用以下多种形式:

- 1) 大、小齿轮都用软齿面;
- 2) 大轮软齿面、小轮中硬齿面;
- 3) 大、小轮都用中硬齿面;
- 4) 大轮中硬齿面、小轮中硬调质后渗氮;
- 5) 大、小齿轮都渗氮;
- 6) 大齿轮中硬齿面、小齿轮渗碳淬火;
- 7) 大、小齿轮都渗碳淬火。

这些形式的产生是经历数10年的发展逐渐形成的。国外,50年代也是主要生产软齿面齿轮,60年代初开始搞氮化齿轮,70年代初开始搞渗碳淬火齿轮。受渗碳层深度及热处理质量等一些技术的限制,直到80年代初期渗碳淬火磨齿的硬齿面技术才真正成熟。

下面我们通过几个对比来看一看采用不同加工工艺对减速器承载能力、重量成本等方面的影响。

图 1-1 为一台小齿轮公称转矩为 21400 Nm, 输入转速 $n_1 = 500 \text{ r/min}$, 减速比 $i = 3$, 使用系数 $K_A = 1.25$, 接触强度安全系数 $S_{Hmin} = 1.3$, 弯曲强度安全系数 $S_{Fmin} = 2.3$, 按单台生产设计的减速器当分别采用不同的材料热处理工艺和精加工手段时设计结果的对比。

由图可见: 当大小齿轮都由 45 号钢正火改为 42 CrMo 调质、小齿轮渗碳淬火; 大齿轮调质、大小齿轮都气体氮化、大小齿轮都表面感应淬火、到大小齿轮都渗碳淬火, 减速器的体积越来越小, 中心距由 830 mm 降到 390 mm, 重量由 8505 kg 降到 1581 kg, 成本也越来越低。按减速器大、小齿轮都用 42 CrMo4 材料调质滚齿的总重量百分比为 100%、价格百分比为 100% 计算, 大、小齿轮都用 20 MnCr5 材料渗碳淬火磨削齿轮减速器的重量比仅为 33%、成本为 63%。这里采用的 20 MnCr5 并不是性能特别好的材料, 如用 17 CrNiMo6 材料, 其重量还会降低。

图 1-2 为原西德一些公司齿轮技术发展情况的比较。按输出单位转矩所需齿轮装置的重量 $G/T_2 (\text{kg/Nm})$ 估算: 1950 年采用调质齿轮为 0.096, 1964 年采用氮化齿轮为 0.04, 1983 年采用渗碳淬火齿轮普通结构为 0.02、行星传动可达 0.0087。如果非常粗略地估计一下, 输出 100 Nm 的转矩需要齿轮装置的重量 1950 年时为 10 kg, 到 1983 年可达到仅约 1 kg。

图 1-3 为德国弗兰德(FLENDER)齿轮公司不同时期生产的传递同样功率的通用减速器的体积对比。

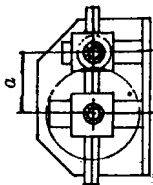
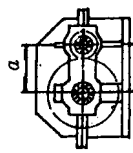
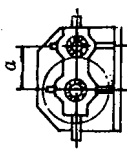
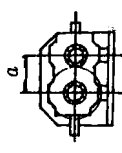
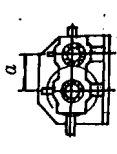
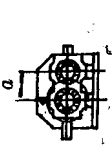
大、小齿轮材料	C45	42CrMo4	小齿轮: 20MnCr5 大齿轮: 42CrMo4	31CrMoV9	34CrMo4	20MnCr5
热处理	正火	调质处理	小齿轮: 渗碳硬化 大齿轮: 调质处理	气体氮化	齿廓感应硬化	渗碳硬化
加工	滚切	滚切	小齿轮: 磨削 大齿轮: 滚切	精铣	铣削、研磨	磨削
中心距 a 模数 m	$\frac{830 \text{ mm}}{10}$	$\frac{650 \text{ mm}}{10}$	$\frac{585 \text{ mm}}{10}$	$\frac{490 \text{ mm}}{10}$	$\frac{470 \text{ mm}}{14}$	$\frac{390 \text{ mm}}{10}$
结构尺寸 (焊接箱体)						
滚动轴承重量, kg	95	95	95	105	105	120
总重量, kg	8505	4860	3465	2620	2390	1581
总重量百分比, %	174	100	71	54	49	33
价格百分比, %	132	100	85	78	66	63
安全系数 S_H	1.3	1.3	1.3	1.3	1.4	1.6
安全系数 S_F	6.1	5.7	3.9	2.3	2.3	2.3

图 1-1 所用齿轮为不同材料时的传动装置比较

小齿轮的标称转矩为 21400 Nm, $n_1 = 500 \text{ r/min}$; $i = 3$; 使用系数 $K_A = 1.25$; 安全系数, 点蚀,

$S_{Hmin} = 1.3$; 弯曲, $S_{Fmin} = 2.3$; 按单件生产设计

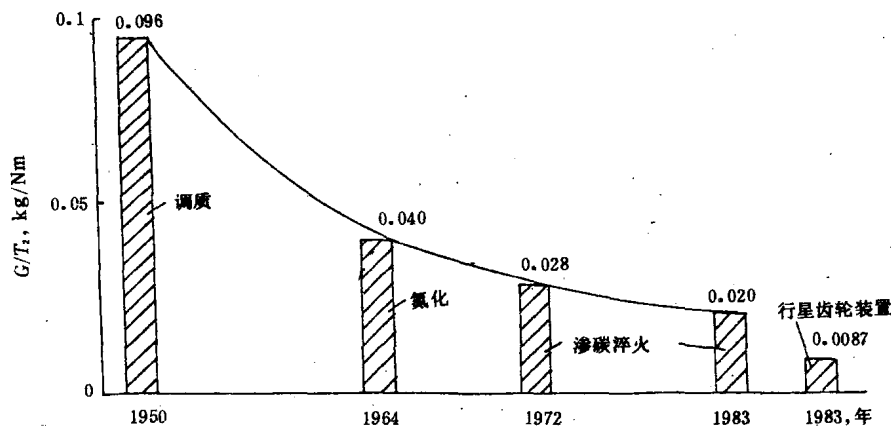


图 1-2 不同时期减速器的重量 G 和输出转矩的 T_2 的比值

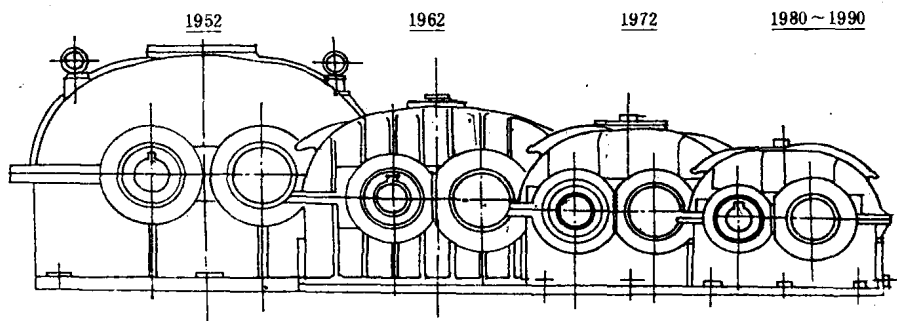


图 1-3 弗兰德公司通用减速器的发展情况

以上各例可以看出,现代齿轮技术已使齿轮的承载能力大幅度提高,直接效益是使减速器体积减小、重量减轻、成本降低、噪声减小、效率提高、可靠性提高,间接效益无异是大大提高了主机的整体水平。促使减速器承载能力提高的几个直接因素的贡献大约为:

- (1) 选取最佳变位系数,承载能力可提高 5%~10%;
- (2) 采用渗碳淬火磨齿的硬齿面齿轮,承载能力可提高到 400%;
- (3) 采用多分支的功率分流,承载能力可提高到 200%或 300%;

(4) 齿形或齿向修形,使满载状态下载荷沿齿面达到理想状态的分布,承载能力提高的幅度也很大,具体数值因情况而异;

(5) 根据笔者的计算结果,7~9级齿轮接触精度每提高一级,承载能力可提高10%~15%左右。

此外,当今减速器技术的更成熟还表现在:理论研究(如强度计算方法、修形技术、变形计算、优化设计等现代方法的应用,新齿形、新结构、新技术的应用等)更完善、更接近实际;普遍采用各种优质合金钢锻件、材料和热处理质量控制水平的提高;结构设计的更合理;加工精度普遍提高到ISO的4~6级;轴承质量和寿命的提高;润滑油质量的提高;加工装备和检测手段的提高等方面。

无疑,采用硬齿面在提高齿轮的承载能力方面起了主导性作用。

第二节 硬齿面齿轮承载能力分析

齿轮的主要失效型式有齿面点蚀、轮齿折断、齿面胶合和齿面磨损等型式。

采用硬齿面后,齿面硬度一般为HRC 56~63,耐磨性大大提高是显尔易见的。润滑良好的硬齿面齿轮,运行几年仍可能看不出明显的磨损痕迹,磨损已不是硬齿面齿轮的主要失效型式。

齿面胶合可分为冷胶合和热胶合。胶合不属于疲劳性损伤,其产生归咎于齿面润滑失效。冷胶合较少见,多发生于低速低精度的调质齿轮上。热胶合多发生在高速齿轮运行的初期。由于目前所使用的中极压齿轮油的FZG抗胶合载荷级已达11级以上,所以一般低速重载齿轮发生胶合损伤的已极少见。

因而,齿面点蚀和轮齿折断仍一直是齿轮最常见失效形式,轮齿抗点蚀的接触疲劳强度和抗折断的齿根弯曲疲劳强度是决定齿轮承载能力的最主要因素,而硬齿面齿轮这两方面都有大幅度的提高。

点蚀是由于齿面上变化的接触应力超过了疲劳极限,在齿面以下很浅处产生的疲劳裂纹扩展,使表面层小块金属剥落,形成小坑的失效形式。

啮合齿面间的赫兹应力如图1-4分布, σ_H 为最大赫兹压应力,最

大主剪切应力 $\tau_{\max} \approx 0.56 \sigma_H$, 距表层深度约为 $0.68 S$ (S 为赫兹接触区宽度的一半), 图 1-5 的曲线 1 为渗碳后不同层深的硬度分布曲线, 曲线 2 为某模数为 25 mm 的轮齿剪切应力 τ 沿齿面以下深度的分布, 曲线 3 为渗碳齿轮不同层深剪应力接触疲劳强度的许用值 (齿轮材料为 17 CrNiMo6)。由图 1-5 可见, 有合理层深的渗碳淬火的硬齿面齿轮的许用接触疲劳强度值在不同层深范围内都高于接触剪切应力值, 并且有一定的强度裕度, 这就是硬齿面齿轮齿面接触强度高的原因所在。

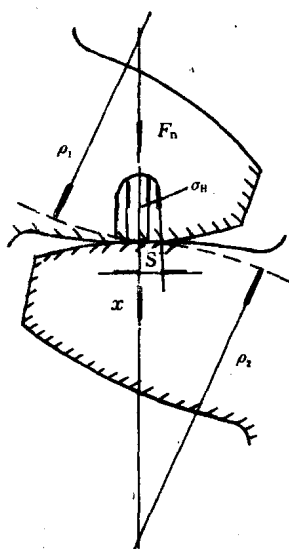


图 1-4 啮合齿面间的赫兹应力

对 42 CrMo4 调质齿面硬度 $HV=280$ (相当于我国目前中硬齿面的硬度下限) σ_H 的许用值可取 670 N/mm^2 , 对 17CrNiMo6 渗碳淬火, 齿面硬度 $HV=740$, σ_H 的许用值可取 1500 N/mm^2 , 二者可传递功率之比为公式(1):

$$\left(\frac{1500}{670} \right)^2 \approx 5 \quad (1)$$

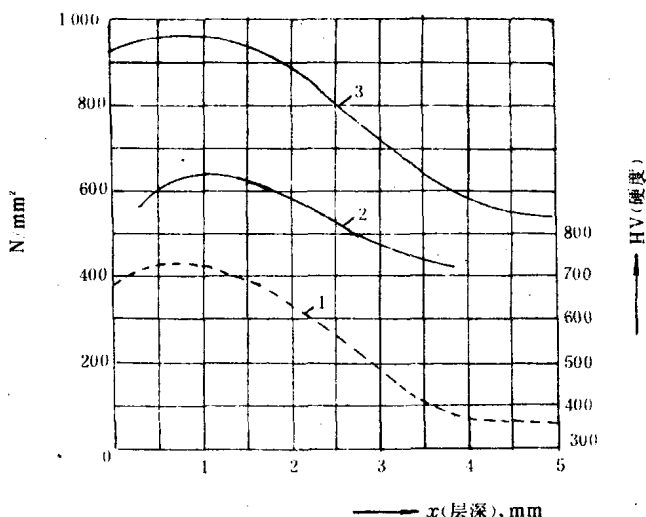


图 1-5 剪应力、许用接触应力随层深的变化
1—硬度曲线；2—剪应力曲线；3—许用剪应力曲线

即单从许用应力来比,按接触强度计算硬齿面比中硬齿面的承载能力可提高到 5 倍。而中硬齿面比我国过去一般所用的软齿面的承载能力可提高 30%~50%,所以说按接触强度计算硬齿面为软齿面的承载能力的 5~6 倍是比较客观的。

轮齿折断主要有过载折断、疲劳折断、端角折断等形式。其中,由于齿根过渡曲线附近的危险截面的变应力超过其疲劳极限,形成疲劳裂纹并扩展使轮齿折断的疲劳折断最为常见。

由于疲劳裂纹首先开始于拉伸侧的齿根圆角处(严格来说,危险截面在和齿根圆弧 30°切线的切点处,参见图 1-6),而具有合理的渗碳层深和心部韧性的渗碳淬火齿轮会在齿根圆角表层产生很大的残余压应力,此残余应力在很大程度上抵消和削弱了拉伸侧的拉伸应力,这就是硬齿面齿轮齿根弯曲疲劳强度提高的主要原因。

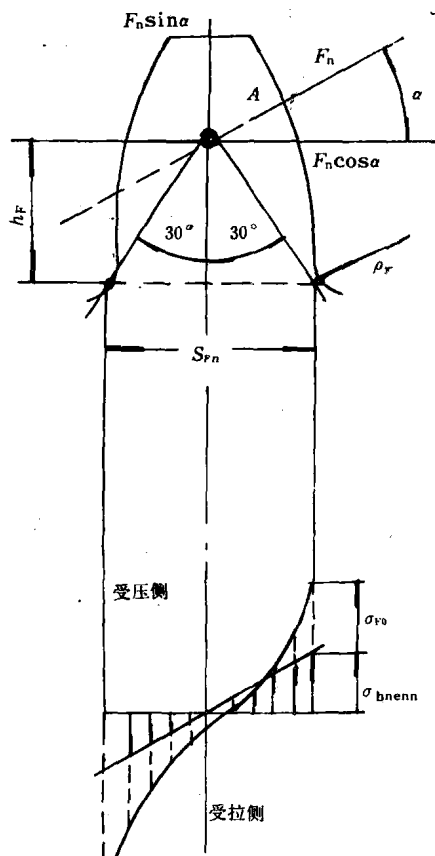


图 1-6 齿根弯曲应力

同样对 42 CrMo4 调质 HV=280 的齿轮的许用弯曲疲劳强度值 σ_F 可取 280 N/mm², 而 17 CrNiMo6 渗碳淬火 HV=740 的齿轮控制好时 σ_F 可取到 550 N/mm², 二者可传递功率之比为公式(2):

$$\frac{550}{280} \approx 2 \quad (2)$$

即硬齿面齿轮比中硬齿面齿轮的齿根弯曲疲劳强度承载能力可提

高1倍。从数值上看好象是不如接触强度提高得那么大,但是由于软齿面齿轮的接触强度是薄弱环节,相比之下,弯曲强度过剩量很大,一般弯曲安全系数 S_F 可达5左右,强度发挥不出来,而 S_F 有2就差不多够了。在制造能够保证达到设计要求的条件下, S_F 高于2.5已没有太大意义。而硬齿面,齿根强度就发挥得比较充分,使接触和弯曲两强度的安全系数相接近($S_H \approx 1$ 时, S_F 为1.4左右)。所以,虽然上面算得二者可传递功率之比为2,加上挖掘出的软齿面齿根强度的富裕部分,实际硬齿面齿根强度完全可以承受4倍的中硬齿面传递的功率。

应该说明的是以上 σ_F 的许用值取得都偏高,特别是渗碳淬火齿轮取 550 N/mm^2 偏高较多,因此渗碳淬火后齿根弯曲强度一般提高不到2倍,远没有接触强度提高的幅度那么大。因此,硬齿面齿轮一般都采用较大的模数,以提高弯曲强度,提高总体的承载能力。

引入可靠性设计后,过去有些教材里提的:“软齿面按接触强度设计,用弯曲强度校核;硬齿面按弯曲强度设计,用接触强度校核”的提法就欠确切了。事实上,硬齿面虽然接触强度提高的幅度大,仍是接触强度低于弯曲强度。

不管是软齿面还是硬齿面,若 $S_H=1$,点蚀失效概率 $\leq \frac{1}{100}$;若 $S_F=1$,齿根断齿失效概率也是 $\leq \frac{1}{100}$ 。

对硬齿面,若 $S_H=1$,点蚀失效概率 $\leq \frac{1}{100}$;而同时, S_F 若可达到1.4~1.5,弯曲折断失效概率就可达到 $\leq \frac{1}{10000}$ 。即这时断齿的失效概率远远小于点蚀的失效概率,点蚀仍会先出现,设计仍需先考虑抗点蚀强度够不够。如果说过去发生过一些硬齿面齿轮没点蚀先断齿的现象的话,那往往都是因为制造达不到设计要求或设计时没考虑意外的冲击造成的。不过,由于断齿造成的损坏往往是破坏性的,造成的损坏更大,人们不希望发生,所以一般把弯曲安全系数提得更高一些,如轧钢机用齿轮,取 $S_H \geq 1.3$, $S_F \geq 2.5$ 。 $S_F=2.5$ 时的失效概率已极小了,一般来说再增大安全系数已无太大必要。

第三节 硬齿面齿轮在冶金设备上的应用

随着硬齿面技术的发展、成熟及加工装备能力的提高,国外冶金设备用传动装置从70年代开始就由中硬齿面向中硬-硬齿面搭配,并向采用硬齿面的方向发展。

70年代,武钢从日本引进的热轧线的齿轮装置大多是软齿面及中硬齿面,从西德引进的冷轧线的齿轮装置就已经是硬齿面占多数。80年代,宝钢一期工程不论是从西德还是从日本引进的设备,除少数因加工装备限制无法加工的大齿轮采用中硬齿面外,几乎所有齿轮都采用硬齿面了。

以轧机齿轮为例,武钢1700 mm 热带连轧机主减速器和齿轮机座的大齿轮全用软齿面、小齿轮全用中硬齿面(小齿轮 HB 270~312,大齿轮 HB 240~280),其主要参数见表1-1、表1-2。武钢1700 mm 冷连轧机五机架的齿轮全部为渗碳淬火齿轮,其传递功率参数见表1-3。宝钢2050 mm 热连轧主减速器除因加工装备限制不能加工的大齿轮采用中硬齿面外都用渗碳淬火齿轮,而齿轮机座全为渗碳淬火的硬齿面齿轮,主要参数见表1-4,表1-5。

表 1-1 武钢 1700 热连轧机主减速器参数

机座号	中心距 a mm	模数 m_n mm	齿数 Z	压力角 α_n	螺旋角 β	齿宽 b mm	轮齿 形式	输入 功率 P_1 kW	输入 转速 n_1 r/min	齿轮 材料	齿面硬度 HB	齿轮 精度 JIS
V.S.B	1300	16	26/114	20°	30°30'37"		人字齿	1250	375	SNCM8 SCM2	270~312 240~280	2
R_1	1660	20	31/118	20°	26°9'34"	900	人字齿	4600	428	SNCM8 SCM2	270~312 240~280	2
	2675	25	36/158	20°	24°58'5"	1300	人字齿			SNCM8 SCM2	270~312 240~280	2
R_3	2675	25	36/158	20°	24°58'5"	1300	人字齿	7500	350	SNCM8 SCM2	270~312 240~280	2
R_4	2100	20	31/167	20°	24°44'4"	1100	人字齿	6500	428	SNCM8 SCM2	270~312 240~280	2
F_1	2400.3	径节 1"	41/148	20°	23°	1500	人字齿	7600	365	SNCM8 SCM2	270~312 240~280	2
F_2	1803.4	1"	44/98	20°	23°	1500	人字齿	7600	365	SNCM8 SCM2	270~312 240~280	2
F_3	1587.5	1"	51/74	20°	23°	1500	人字齿	7600	365	SNCM8 SCM2	270~312 240~280	2