

关于我国圆弧齿轮生产 及工业应用情况的报告

(一机部转发)

第一机械工业部机械科学研究院

1962年7月

关于我国园弧齿輪生产 及工业应用情况的报告

一机部按:

从1958年以来的实践证明在一般用途中园弧齿輪与傳遞同等功率的渐开綫齿輪相比,显著地表现出体积小、重量輕,既省工又省料的优点,按减速器的中心距不同,可节省金属20~57%,节省工时15—30%,还可以用普通碳鋼代替贵重的合金鋼。看来,园弧齿輪有显著的经济价值,应该有重点地扩大应用,并继续加强試驗研究工作。

一、扩大在重型、矿山机械行业(例如运输机械、起重机械、球磨破碎机械、冶金设备、軋鋼机等)低速重载园弧齿輪傳动的应用。这方面实际应用較多,經驗比較成熟,效果十分显著。

除了抓紧已往成果的技术鉴定及总结外,要抓住产品设计和制定系列化方案这一环节。这是园弧齿輪能否推广的先决条件,有关单位要尽可能采用这一新技术,某些产品也許由于各种条件,不能立即应用园弧齿輪时,也要考虑同时采用园弧齿輪与渐开綫齿輪两个方案。

二、高速园弧齿輪和园錐园弧齿輪在实际应用中,也已取得初步成果,今后还要继续試用,以便积累更多的数据。

三、几年来,园弧齿輪的研究、设计、試驗、应用、取得很大成积,但是在具体工作中,也还存在一些問題,这些問題我部正分别安排解决中,新生的事物,总不会沒有問題的,需要在不断試驗与試用中逐步加以解决。我部要求有关单位继续重視抓紧这项工作。并积极解决存在的具体問題,使园弧齿輪的扩大应用能在較短的期間内取得更大的成效。

第一机械工业部

1962年7月12日

(一) 概 况

圓弧齒輪(諾維柯夫齒輪)與傳遞同樣功率的漸開綫齒輪相比,顯著地表現出体积小、重量輕,既省工又省料的优点。

根据洛陽矿山机器厂、大連起重機厂、合肥矿山机器厂和沈陽重型机器厂的統計。按減速器中心距不同,可节省金屬20—57%,节省工时15—30%,还可以用普通碳鋼代替貴重的合金鋼。

自1958年苏联公开发表后,引起了世界各国的广泛注意,1960年10月在西德埃森(ESS EN)市召开的国际齒輪會議上。圓弧齒輪被列为中心議題的第一項进行了討論,西德尼曼(NIEMANN)和英国的哈里森(HARRISON)等人在会上作了关于圓弧齒輪的专题报告,會議一致认为,圓弧齒輪的综合承载能力比漸開綫齒輪来的高,60年苏联机械及机构原理基本理論問題會議上决定,在各种机械制造行业中推广圓弧齒輪。

国内在1958年大跃进中,富拉尔基重機厂、洛陽矿山机器厂和大連起重機厂都先后試制成功了圓弧齒輪減速器。1959年1月第一机械工业部在天津召开了圓弧齒輪小組會議,同年12月,在洛陽召开了全国圓弧齒輪技术會議,1960年技术革新和技术革命上海現場會議,將圓弧齒輪列为重点推广項目。同年八月,組織了圓弧齒輪推广队到东北和华东地区七省、十市推广这一先进技术。

1961年4~5月,我們調檢了东北、华东地区20多个制造圓弧齒輪的工厂,那时这些工厂已生产了各种型号的齒輪減速器2156台,絕大部份已作为商品出厂。其中上海占1254台,大連占417台,沈陽161台,合肥222台,嘉兴100台,哈尔滨6台。截至1961年底,国内产量总计約2500台。各区还各具特色,上海以高速重载冠盖全国,大連以成批生产著名,沈陽特点为重型,合肥在材料代用方面获得了成果。按生产和使用情况,大致上可分二类:

第一类工厂 产品质量較好的工厂,这些工厂已經成批生产圓弧齒輪。厂內經過試驗和鉴定,部份商品出厂經過一定時間使用后,情况良好,基本上掌握了所生产的圓弧齒輪減速器的設計和生产技术。属于这一类的工厂包括:沈陽重型机器厂、洛陽矿山机器厂、大連起重機厂、合肥矿山机器厂、上海大隆机器厂和上海汽輪机厂等。

第二类工厂 成批生产,而且产品大部份已經出厂,但厂內未經試驗,商品出厂時間还不长,使用情况不明,产品质量尚待鉴定,設計及制造技术尚未掌握。

以上这些工厂,有的在推广圓弧齒輪工作上做得很好,有的做得不够好。凡是针对生产,充分發揮圓弧齒輪优越性来解决生产关键、重視产品质量的工厂,往往决心大、行动快、取得的經驗效果也最显著。

1960年,特别是推广队到各处推广以后,圓弧齒輪在国内有了很大的发展,已經从个别試制过渡到成批产生;从单一品种(圓柱齒輪)发展到多品种(圓弧錐齒輪及蝸杆傳动),从低速傳动发展到高速傳动,从中小型減速器发展到巨型。从1961年第二季度开始,产量下降,主要重点进行提高产品质量的工作。現在,圓弧齒輪已經在鼓风机、空气压缩机、起重机械、运输机械、軋鋼机、球磨机及一些輕工业机械中使用,取得了显著的經濟效果。

当前，傳遞功率最大、速度最高的圓弧齒輪，是上海汽輪機廠製造的506型透平壓縮機增速器，額定功率為2500瓩，圓周速度72米/秒；最大的圓弧齒輪是沈陽重型機器廠製造的3100×3200球磨機開式齒輪，直徑為4466毫米；最大的圓弧齒輪減速器是沈陽重型機器廠製造的13米管磨機減速器，其中心距為2600毫米；生產批量最大的工廠是上海起重運輸機器廠、大連起重機廠和合肥礦山機械廠，約占全國總產量70%以上。

上海工具廠和哈爾濱第一工具廠在1960年及1961年共完成了2000套圓弧齒輪滾刀的生产任务。上海工具廠還試制和正式生產了3A級、2A級和A級精度的高精度滾刀。哈爾濱量具刃具廠試制了第一批試用的圓弧齒輪公法綫量具。上海量具刃具廠也試制成功了圓弧齒輪公法綫齒距、齒深和齒根圓尺寸的量具，並已正式投入生產，為圓弧齒輪的推廣提供了物質條件。另外，圓柱圓弧齒輪減速器系列設計（草案）已由第一機械工業部組織了工作隊在太原重機廠於1961年4月底全部設計完成，現在正在上海地區及三局直屬工廠進行試制和試驗。

圓弧齒輪的試驗研究也推動了整個齒輪專業的試驗研究工作。目前，國內各研究單位及高等學校約有40個齒輪試驗台，上海機械工程學會、北京鋼鐵學院、大連起重機廠、太原工學院、哈爾濱工業大學、合肥工業大學及機械科學研究院在協助工廠推廣圓弧齒輪和試驗研究方面，獲得了一定的成果。

(二) 圓弧齒輪在工業中的應用效果

由1958以來，我國已生產圓弧齒輪減速器2500余台，有一部份已經過長期實際運轉，根據1961年11月中國機械工業學會十周年年會上討論結果，認為下列產品經過長期工作安全可靠，在同類產品中可以逐步代替漸開綫齒輪：

(1) 各種類型球磨機開式傳動齒輪：1961年3月28日，鞍鋼東鞍山鐵礦場在3200×3100大型球磨機中採用了圓弧齒輪，這種開式圓弧齒輪減速器是沈陽重機廠製造的，這是我國第一台最大型圓弧齒輪，中心距 $A=2394$ 毫米，傳動比 $i=13.9$ ，法向模數 $M_H=16$ ，傳動功率 $N=600$ 瓩，螺旋角 $\beta=5^\circ15'$ ，重合系數 $\epsilon=1.2$ ，小齒輪齒數 $Z_1=20$ ，大齒輪直徑 $D=4466$ 毫米，齒寬 $B=660$ 毫米，主動齒輪轉數 $N_1=256$ 轉/分，這對齒輪是代替同型漸開綫齒輪。

鞍鋼過去用之漸開綫齒輪主要問題是齒輪壽命很低，不淬火之小齒輪壽命為8—18天，從動大齒輪為1—1.5年。採用圓弧齒輪後，小齒輪的壽命可維持半年以上，即壽命比漸開綫齒輪大七八倍，證明在開式傳動中採用圓弧齒輪後耐磨性比漸開綫齒輪高得多，該齒輪不但壽命高，而且加工工時節省，大型機床台時為31.8%，具有很大的經濟效果。

(2) 中小型軋鋼機齒輪減速器：

在過去的幾年內中小型軋鋼機圓弧齒輪在實踐工作中通過了嚴格的考驗，證明圓弧齒輪在具有很大大沖擊載荷時長期工作安全可靠。

1959年11月12日至1961年3月15日洛陽關林鋼鐵廠對5×250軋鋼機圓弧齒輪進行超載工作實驗，該機圓弧齒輪是洛陽礦山機器廠設計製造的，型號是HB—50（中心距 $A=500$ 毫米），傳動比 $i=3$ ，法向模數 $M_H=10$ ，重合系數 $\epsilon=1.6$ ，螺旋角 $\beta=16^\circ15'36''$ ，齒寬 $B=180$ 毫

來額定功率 $N=57$ 瓩，主動齒輪每分鐘790轉，最大扭矩 $M_{\max}=4300$ 公斤·米。

開始一般軋4吋鋼錠，功率一般在 $N=800-830$ 瓩（為漸開綫齒輪的2.1倍）未發生任何問題；61年5月17日至6月3日軋6吋鋼錠，功率達到 $N=1200-1600$ 瓩（為漸開綫齒輪的3.1—3.6倍）在這種超載較長時間的工作過程中，除油溫達到 $t=60^{\circ}\text{C}$ ，減速器在輕微的顫動和聲音較前高些之外無異常所見，順利的經歷了過載工作的考驗，後來都軋4吋鋼錠，至今仍正常工作。

這台軋鋼機圓弧齒輪的實踐結果表明，它可以代替ZD—70（中心距 $A=700$ 毫米）的漸開綫齒輪減速器（重3500公斤，模數 $MH=6$ ，齒寬 $B=350$ 毫米，螺旋角 $\beta=31^{\circ}56'36''$ 的人字齒輪）兩者相比，節約金屬57%（每台節約2000公斤），在2.1倍於漸開綫齒輪的承載能力下可長期絕對安全工作，在3.1—3.6倍於漸開綫齒輪的載荷下能連續工作半月以上。

與上述例子相類似，遼寧陵源礦山廠在 $\Phi 210$ 鋼絲繩機上試驗的IIO—45（中心距 $A=450$ 毫米，額定功率 $N=155$ 馬力，沈陽重機廠生產）圓弧齒輪減速器也得到了類似的結果，這台圓弧齒輪減速器出廠前，沈陽重機廠曾分別以155，465和700馬力的負荷各運轉 $N_u=107$ 轉後發往用戶，從1961年春開始，用戶以 $N=300$ 瓩載荷長期工作安全可靠。

這台軋機圓弧齒輪的實踐結果表明，它可代替IIO—65漸開綫齒輪減速器（ $A=650$ 毫米，重2890公斤），每台節約金屬1564公斤，在為漸開綫齒輪2.7倍的載荷下安全可靠工作，在3.6倍於漸開綫齒輪的負荷下也能經得起考驗。

上述實踐證明，在中小型軋鋼機上，完全可以採用圓弧齒輪。並可按漸開綫齒輪承載能力的2—2.5倍計算採用。

（3）卷揚機和起重機圓弧齒輪：1960年4月河南滎池扣門山煤礦在2.5米卷揚機上採用了HB—115（中心距 $A=1150$ 毫米，傳動比 $i=1.5$ ，傳動功率 $N=320$ 瓩，主動齒輪每分鐘720轉）圓弧齒輪減速器，齒輪箱是洛陽礦山機器廠製造的，出廠前，曾在扭矩 $M_K=11500$ 公斤·米的載荷下運轉了 $N_u=5 \times 10^6$ 轉（320小時）後未發生任何不良現象，自60年4月用戶正式應用後，一直工作到現在無不良現象發生，這台減速器可代替II2—150漸開綫齒輪減速器，兩者相比，節約金屬46.6%（5540公斤/台）承載能力為漸開綫齒輪的2.3倍。

1960年4月13日大連起重機廠在自己的鑄鋼車間20/5噸吊車上正式採用了PH—350型（中心距 $A=350$ 毫米，雙級傳動，第一級 $A_1=150$ ，模數 $M_1=4$ ，第二級 $A_2=200$ ， $M_2=5$ ，傳動比 $i=2$ ）圓弧齒輪減速器，開始也經過試車，即吊重21噸，往復三次行車，行程100米，起動和制動六次，結果聲音正常，溫升不大，經同年5月1日，5月18日和1962年3月2日檢查，齒面接觸良好，運轉正常，可代替PM—400漸開綫齒輪減速器（升一級）長期運轉安全可靠，節約材料20%，節約工時15%，同型圓弧齒輪減速器在鞍山紅色拖拉機廠、上鋼三廠的試驗也得了同樣的結果。

上述事實證明，圓弧齒輪完全適用於起重機和卷揚機上，並且均可以升高一級代替漸開綫齒輪減速器。

（4）汽輪機和鼓風機高速圓弧齒輪：1961年4月28日山東冶縣電廠在21—1.5型汽輪變電機組上採用了高速圓弧齒輪（青島汽輪機廠製造，傳動功率 $N=1500$ 瓩，工作圓周速度 $V=43.3$ 米/秒，中心距 $A=350$ 毫米，傳動比 $i=3.70$ ，高速軸轉數 $n_1=5550$ 轉/分，重合系

数 $\varepsilon=6$; $\beta=24^{\circ}53'11''$ 的人字齒輪), 最初高速軸以 $R_1=4500$ 轉/分, 電網負荷700—900瓩, 後來有時達到1150瓩(因用戶所需限制不能繼續提高), 61年8月停車檢查齒面接觸良好, 無任何破壞現象。齒輪噪音相當於同等精度的漸開線齒輪的水平, 最高為97分貝, 齒箱軸承振動0.02~毫米。

這台高速圓弧齒輪是用精滾代磨(齒輪只經調質處理)工藝製造, 代替原來滲碳淬火的漸開線齒輪, 實踐證明, 雖然圓弧齒輪的硬度比漸開線齒輪低, 但壽命和安全可靠確大於滲碳淬火(未經磨齒)的漸開線齒輪, 例如, 青島汽輪機廠60年10月用上述工藝製造的漸開線齒輪工作7天斷齒12個, 而精滾代磨的漸開線齒輪運轉三天左右即出現麻點(3毫米之大), 證明對於同樣的材料, 硬度和精度的齒輪, 其強度兩者相差很大。

與上述情況相類似, 浙江安吉康山煤礦烏洋發電廠, 於1961年3月18日試用了一台21—0.75型汽輪發電機組高速圓弧齒輪, 該機組由杭州汽輪機廠製造, 據用戶反映, 齒輪箱軸承振動0.01—0.02毫米, 噪音比長興煤礦的兩台漸開線高速齒輪低, 由於用戶所需有限, 一般負荷是200瓩, 至今已運轉1年以上, 工作始終正常。

1960年末上鋼一廠、上鋼三廠和太原鋼廠分別採用了上海大隆機器廠製造的200立方分米高爐鼓風機高速圓弧齒輪增速器, 在11台中有9台至今工作正常, 另外的兩台是由於硬度低(不合格)而發生塑性變形和安裝錯誤(中心距不對)所發生斷齒, 上海大隆機器廠1960年製造了這種鼓風機高速圓弧齒輪315台(工作圓周速度 $V=67$ 公尺/秒, 功率 $N=250$ 瓩, 中心距 $A=280$ 毫米, 傳動比 $i=3.375$ 法向模數 $M_H=5$, 重合系數 $\varepsilon=2.35$, 螺旋角 $\beta=20^{\circ}21'48''$, 高速軸轉數 $n=10000$ 轉/分, 這種圓弧齒輪增速器代替了原來的四級漸開線增速齒輪, 由於由四級改為一級增速, 故使產品由8000公斤減至2800公斤, 節約材料65%, 每台節約金屬材料5200公斤, 同時由於採用精滾代磨的工藝, 克服了沒有磨齒機和淬火設備下生產漸開線高速圓弧齒輪的困難, 這一點對於我國數十個中小型鼓風機、小型汽輪機和內燃機製造廠(目前這些廠多沒有磨齒機高頻淬火設備和缺少合金鋼)具有特別重要的意義。

在上節中, 我們談到上海汽輪機廠首先成功的試用成功了506型透平壓縮機高速圓弧齒輪增速器, 在傳遞功率2500瓩的重載下, 工作圓周速度達到了 $V=72$ 米/秒, 這一系列的事實說明, 圓弧齒輪不但完全適用軋鋼、冶金、礦山、起重運輸等低速或低速重載傳動而且在高速和高速重載傳動中也取得了一定成就, 具有廣闊的發展前途。

現在沈陽扇風機廠正在試制工作圓周速度每秒97公尺的更高速度的圓弧齒輪, 以便進一步探索圓弧齒輪在高速傳動中的優越性。

1959年以來上海汽車齒輪廠對三輪卡車後橋圓弧錐齒輪(諾維柯夫式的)進行了一系列的試驗, 根據初步試驗結果, 在同樣的條件下, 圓弧錐齒輪的強度和壽命比漸開線錐齒輪優越。

在過去的幾年里哈爾濱工大、沈陽礦山機器廠和張家口煤礦機器廠都先後試制成功了圓弧錐齒輪, 關於圓弧錐齒輪的強度比漸開線錐齒輪高若干倍問題, 北京起重機廠正在進行試驗中。

以上所述實際上是一些典型例子, 但已顯示了它的優越性, 最近一年來各單位一定有了

更多的采用，在附表3中所列的产品，会有更多的投入生产和运转，由于没有进行普查，所以这些产品的运转情况尚不能作更详细的报告。

(三) 圆弧齿轮试验研究成果

自1958年以来，我国有关部门开展了大量的科学研究。至1961年11月止，在十周年机械工程学会上提出和讨论了具有一定价值的学术论文40余篇，涉及到了圆弧点啮合齿轮的啮合原理，强度计算，公差与测量，圆弧齿轮减速器的标准化和系列化，工刀量具设计制作，以及圆弧齿轮在高速传动，蜗杆传动和锥齿轮传动中的应用，试验研究总结了数年的工作，现将其中几个方面做如下的报告：

(1) 圆弧齿轮减速器的综合承载能力的试验成果。

1960年以来，机械科学研究院、哈尔滨工业大学、大连工学院、大连起重机厂、合肥矿山机器厂、洛阳矿山机器厂、上海起重机厂、上海冶金矿山厂和沈阳重机厂分别对中心距为 $A=150, 350, 400, 500$ 和 1150 的圆弧齿轮减速器进行了综合承载能力的试验，部份试验情况和结果详见附表2。

通过大量的超载试验证明，圆弧齿轮的综合承载能力为渐开线齿轮的 $3.31-5.33$ 倍，均在现取值 $(2-2.5)$ 倍以上。

在科学试验和大量工业试验的基础上，一机部制定的ZHD, ZHL, ZHS和ZHQ型圆弧齿轮减速器系列，其强度计算方法是在上述试验基础上进行的，今年六月份上海起重机厂和上海冶金矿山机器厂分别对ZHQ350和ZHL1150圆弧齿轮减速器进行了超载试验，试验结果完全符合设计规定。

(2) 制订了“圆柱圆弧齿轮减速器系列”：

为了使我国圆柱圆弧齿轮减速器迅速走向标准化和规格化生产，60年四季度至61年5月一机部制订了“圆柱圆弧齿轮减速器系列”即：

- 1、ZHQ型：用于起重运输机械中的两级减速器，中心距由 $250-1000$ 毫米，共8种规格。
- 2、ZHD型：用于重型矿山机械中的单级减速器，中心距由 $150-700$ 毫米，共10种规格。
- 3、ZHL：用于重型矿山机械中的两级减速器，中心距由 $250-1150$ 毫米，共10种规格。
- 4、ZHS型：用于重型矿山机械中的三级减速器，中心距由 $500-1450$ 毫米，共7种规格。总计35种规格。

上述系列自1961年三季度开始已由下列单位正式试制：上海起重机厂试制ZHQ350, 600和850型，其中ZHQ350型已试制完成4台，并已完成超负荷试验成功，上海冶金矿山机器厂试制ZHL1150型，现已完成，并经负荷试验成功；沈阳重型机器厂已完成ZHD500, 700和ZHL1000型，即将进行试验；上海重机厂试制ZHS950, 500, ZHL250和650型，按计划这些代表类型规格将于今年三季度内完成。

(3) 工刀量具的設計与制造。

自1959年以来，洛阳矿山机器厂、沈阳重机厂、大连起重机械厂、哈尔滨第一工具厂和上海工具厂等单位共生产圆弧齿輪滾刀3000套以上，其中仅上海工具厂和哈尔滨第一工具厂在1960年各生产1000套，上海工具厂在生产圆弧齿輪滾刀中小模数的精度达到了A級，AA級和AAA級，生产規格由模数2—14毫米，沈阳重型机器厂已制成模数16和22毫米的圆弧齿輪滾刀；为了統一齿型，1961年三季度一机部决定，今后一律生产“61”型圆弧齿輪滾刀。

自61年三季度起，上海量具刀具厂已正式生产下列圆弧齿輪量具：

- 1、公法綫卡規：可測公法綫长度300毫米，每把800元，已生产4把。
- 2、公法綫游标卡尺，可測长度200毫米，每把77元，已生产30把。
- 3、齿深千分尺（測量齿高用），測模数3—16毫米的齿輪，每把45元，已生产30把。
- 4、測量齒根圓用的接头（配哈量、成量或捷克型千分卡尺用），測量圆弧齿輪的齒根圓尺寸，每把88.5元，已生产20套。
- 5、軸向齿距和圓周齿距两用齿距仪，可測模数3—8毫米，每个600元，已生产3个。
- 6、測量周期誤差用的齿面波度仪，可測模数2—8毫米的齿輪，每个300元，已生产3台。

这些量具的出世，为提高圆弧齿輪創造了物质基础。

(四) 当前存在的問題

目前，圆弧齿輪生产和使用方面，主要存在以下問題。

(1) 圆弧齿輪減速器制造质量未能达到圖紙要求，普遍存在的問題，大多数是漸开綫齿輪減速器遺留下来的老問題：

1、齿輪的材料和热处理不符合要求——有些厂对于所用的材料心中无数，热处理不合格，齿面硬度过低，因而极易产生齿面的塑性流动而损坏。

2、齿輪的加工和安装精度未达到圖紙要求——除了由于对质量重視不够、技术管理松弛、缺少必要的工夹量具，机床维护不良等普遍情况外，对于圆弧齿輪來說，主要原因有：

(1) 圆弧齿輪滾刀的齿形标准不統一，缺少刃磨設備和知識，刃磨后刀具精度不符合要求，加以工人对于新技术操作不够熟悉或因疏忽大意以致切刀深度錯誤或精度不符合要求。

(2) 齿輪箱中心距公差合規定，齿輪在装配后接触不良，容易产生疲劳点蝕损坏。

根据我們在調查中所見圆弧齿輪损坏实例，大多数是由于齿面硬度不够而发生齿面塑性流动而损坏，只要在生产中認真对待，应该是比較容易避免的。部份是由于加工精度不好，形成齿面局部接触，以致齿面金属疲劳而产生点蝕。

因此，我們认为：当前保証圆弧齿輪质量的措施，主要是抓齿輪硬度和跑合接触檢驗这两个环节。就一般情况而論，材料的硬度可以綜合反映它的机械性能和热处理状态；接触面檢驗，可以綜合反映減速器加工与装配质量，尤其在量具缺乏的情况下，通过跑合进行接触

面檢驗来控制出厂产品质量是可靠的办法。

(2) 王刀量具問題

1、根据上海工具厂和上海量具刀具厂的条件来看，有可能满足各单位滚刀和量具的需要，但是由于过去供销关系复杂（没有完全通过国家物质总局的各地一級站，按一般工具供销制度进行），所以造成一种不正常的局面，一方面去年造成滚刀一度积压，另一方面用户买不到滚刀，看来圆弧齿輪王刀量具的生产，收购和销售必须采取与渐开线齿輪王刀量具的同样办法进行。

2、目前除上海市以外，各厂尚未买到圆弧齿輪量具，对控制圆弧齿輪的精度有一定困难，应该改变这种状况。

(3) 虽然圆弧齿輪在我国已获得了很大的发展，但至今尚未通过国家正式鉴定，因此不少单位尚不敢大胆正式大量采用，这种形状有必要立即改变。

(4) 自1960年三季度起，到1961年一季期間，圆弧齿輪在鼓风机和中小型汽輪机的高速傳动中得到了较广泛的应用和发展，取得了一定的成績，各有关厂积极性很高。

(5) 由于圆弧錐齿輪刀盘的制造比較复杂，专业工具厂尚未正式生产試制，因而与圆柱圆弧齿輪比較起来发展得較慢些。

以上所述，是否恰当，請各級领导批示

此 致

第一机械工业部
国家經济委员会
国家科学技术委员会

第一机械工业部机械科学研究院

1962年7月10日

园弧齿轮在我国工业中应用情况调查表

1962年5月1日

附表1

序号	制造厂	园弧齿轮减速机规格、尺寸、型号	使用地点	应用产品名称及规格	安装台数	动用日期	使用情况	经济价值
1	洛阳矿山机器厂	HB50 中心距500毫米 传动功率575瓩	洛阳天隆 钢厂	5×250机 机	1	1959年11 月~1962 年3月	经长期超载使用，经常 为渐开线齿轮的2.1倍。 曾有半年为3.6倍。 情况良好。	代用11L—70渐开线减速机 原重3.5吨，HB—50重1.5 吨，节省材料75%，节省工时 约50%以45号碳钢代40XH 合金铸钢。
2	上海大 隆机器 厂	中心距280毫米 功率250瓩，高速 轴10000转/分， 工作圆周速度V =67米/分	上钢一厂 上钢三厂	200m ³ /分 高炉鼓风机 "	4 3	1960年4 季度~19 62年3月 "	长期使用，运转正常 长期使用，运转正常， 其中一台发生轻微塑 性，变形。	用铸钢代替了合金钢，原来 鼓风机重8吨，采用园弧齿 轮后减重2.8吨，每台节约 材料5.2吨，渐开线齿轮必 需磨齿，但该厂无磨齿机改 用园弧齿轮后，精滚代磨因 而困难自行得到解决，并且 1980年四季度，节约材料 2000吨。
3	沈阳重 机厂	中心距2894毫米 大齿轮直径4466 毫米，传动效率 600瓩	鞍钢东鞍 山选矿厂	3100×3200 球磨机	1	1961年3 月28日~ 1961年9 月17日	1961年9月17日检查， 仍可继续使用，小齿轮 磨损8.7毫米，大齿轮 磨损1.2毫米	较渐开线齿轮工时，节约30 %原来小齿轮只能用8—18 日，改用园弧齿轮后，提高 寿命七、八倍，大齿轮提高 寿命1倍。
4	合肥矿 山机械 厂	中心距为350， 450，500，650， 700毫米的减速 器	在合肥附 近的碾米 厂、榨油 厂	在皮带运输 机及各种机 械上使用	12	1960年7 月以前至 1962年3 月。	各处均经常使用，运转 正常	按中心距提升一级使用，用 球墨铸铁代替45号钢或40 XH（镇铬钢）

(續附表1)

序 号	制 造 厂	圆弧齿輪減速器, 規格、尺寸、型号	使用地点	应用产品名称及 規格(傳动功率)	安裝数	啟用日期	使用 情 况	經 济 价 值
5	上海汽 輪机厂	中心距A=300毫米 功率2500瓩, 高速 軸 8500 轉/分工作 圓周速度72米/秒	上海汽 輪机厂	350立米/分透平 式壓縮机增速齒 輪箱	1	60年10 月至今	工作正常	用45号鋼代18X1TM合金鋼 精滾圓弧齒輪代替磨齒漸開 綫齒輪
6	青島汽 輪机厂	中心距A=350, 功 率1500瓩工作圓周 速度v=43.3米/秒	山东掖 县电厂	1500瓩发电机組	1	1961年 4月28 日至今	工作一年无任何破 坏和事故, 噪音与 同精度的漸開綫齒 輪差不多(97分貝)	用45号鋼代替18X1TM合金 鋼, 采用精滾代磨法节省了 磨齒机台时, 克服了沒有磨 齒机的困难。
7	大连起 重机厂	PM350	大连起重 机厂鑄鋼 車間	20/5吨桥式吊車 大車行走机构減 速器	2	60年4 月13日 至今	60.4.13安裝至 今工作正常	節約金屬材料20%節約工时 15%
8	上海起 重机厂	PM350	鞍山拖 拉机厂		1	1960年 10月~19 61年3月	工作正常	"
9	沈阳重 机厂	PM350 Q10-45圆弧齒輪A =450 功率155馬力	上鋼三 厂	"	2	1961年1 季度使用 約2个月 高	塑性变形损坏, 使 用材料不明, 未熱 处理, 加工精度不 高	"
9	沈阳重 机厂	Q10-45圆弧齒輪A =450 功率155馬力	辽宁陵 源矿山 厂	Φ210鋼筋机	1	61年1 月至今	长期傳动 300 瓩 工作一年至今工 作正常,	代替Q10-65漸開綫齒輪減 速器每台節約1564公斤金屬 材料, 用戶很注意。
10	洛阳矿 山器 器厂	HB-115(A=1150 圆弧齒輪減速器)	河南渾 池煤矿	2.5米卷揚机	1	60年4 月至今	正常工作二年	代替Q11.150漸開綫齒輪節 約金屬46.6% (每台節約 5540公斤)

我国和苏联部份工厂、高等学校、科学研究单位进行的中心距A=150; 350; 400; 500mm的圆柱圆弧齿轮的综合承载能力的试验结果

序 号	名 称	被试验齿轮 主要参数	制 造 单 位	试 验 单 位	试 验 情 况								试 验 结
					加载扭矩 kg—M	过 载 系 数	应 力 循 环 次 数	齿 面 情 况	加载扭矩 kg—M	过 载 系 数	应 力 循 环 次 数	齿 面 情 况	
1	PLI—150 圆弧齿轮承载能力对比试验	A=150, m=4, $\frac{m}{A}=0.026$ i=2.24 $\varepsilon=1.2$ $\beta=13^{\circ}17'10''$ 圆弧齿轮与渐开线齿轮参数一样	大连起重机械厂	大连起重机械厂 大连工学院	40.5	1.27	10^7	好	132	4.1	10^7	圆弧齿轮一切正常	渐开线齿轮的实际承载能力(按接触强度)大于额定值(M) 1.26倍而小于1.92倍 齿轮的实际承载能力(按疲劳强度)大于渐开线额定值的4.40倍 于5.33倍, 圆弧齿轮疲劳强度为渐开线齿轮疲劳强度的2.2倍
					61.2	1.92	10^7	渐开线齿严重点蚀	142.8	4.46	10^7	渐开线齿轮扩展性剥蚀	
					103	3.2	10^7	渐开线齿轴剥落	170.32	5.33	4.0×10^7	圆弧齿轮大齿轴齿顶出现麻点	
2	LLO—15 圆弧齿轮强度试验	A=150 m=4 $n_{max}=1500rPm$ V=9.5 M/秒 CT45 HB=300—311 A, 箱($\varepsilon=2.5$ B=80 $\beta=23^{\circ}4'7''$) B, 箱($\varepsilon=1.10$) B=49 $\beta=16^{\circ}15'57''$	一机部机械科学研究院	一机部机械科学研究院	24.5	0.73	4.5×10^6	A箱好	24.5	0.73	4.5×10^6	B箱好	同样参数的圆弧齿轮由于数不同; 而 $\varepsilon>2$ 者弯曲强度要大, 同时证明了圆弧齿轮承载能力为渐开线齿轮承载能力的1.5倍(当重合系数 $\varepsilon<2$ 时)至以上(当 $\varepsilon>2$ 时)
					51.95	1.54	1.35×10^7	好	51.95	1.54	1.35×10^6	好	
					111.73	3.31	3.56×10^6	好	111.75	3.31	3.53×10^6	大齿轮有一齿疲劳折断	
3	УРАГОН 高速圆弧齿轮尖峰负荷试验	A=150 m=4 $\beta=26^{\circ}42'17''$ B=40 $\varepsilon=1.48$ CT45 HB=236~260 V=36M/秒	"	"					43.2	1.27	10^7	呈现一条均匀接触带和摩擦痕	由于试验台液力加载器, 加载4.76倍(按渐开线) 33.6公斤—公厘扭矩计 转893000转后无任何破裂
									118	3.51	4.5×10^6	接触面扩大	
									160	4.76	0.9×10^6	齿面光亮, 无任何破坏现象	
4	A=150 圆弧齿轮与渐开线齿轮对比试验	A=150 m=4 $\beta=18^{\circ}47'49''$ B=42 $\varepsilon=1.08$ CT45 V=10M/秒 HB 165HB=240 $n_{max}=1600$ 转/分	苏联中央机械制造与工艺科学研究院	同 左	26.8	1.0	1.2×10^7	渐开线齿轮很好	118	4.38	9.1×10^6	圆弧齿轴很好	渐开线齿轮当M=27kg—安全M=33kg—M扩展时M=47.6时扩展性剥落, 不能继续工作, 圆弧齿轴kg—M时安全可靠工作 130kg—M时为极限承载=142kg—M为弯曲极限
					47.6	1.76	4.4×10^6	渐开线齿轴剥落	142	5.26	5.1×10^6	圆弧齿轴大轴三齿折断七齿裂。	
					94.2	3.48	1.2×10^7	圆弧齿轴很好	130	4.8	8.96×10^6	圆弧齿轴在V=10M/秒安全工作	

5	PM350圆弧 齿轮减速器 承载能力试 验	A=350 (A ₁ =150 i ₁ =3.67 ε ₁ =1.27 m ₁ =3 β ₁ =11°28'42" A ₂ =200 i ₂ =4.45 m ₂ =4 ε ₂ =1.27 CT 45 β ₂ =11°28'42" H _B 120—175)	哈尔滨重 机厂	哈尔滨工 业大学	30.5	1.85	1.5 × 10 ⁷	好 (扭矩指低 速级小齿)	55	3.34	1.5 × 10 ⁷	低速级小齿面出现 进展性点蚀, 有一 个齿面上沿齿宽方 向一半剥落, 另一 齿中部剥落	试验结果表明 PM 柱园弧齿輪表面强 环节是低速級小齿 巴尔霍明克厂的試 能力只能为渐开綫 的2.34倍, 其余为 以上。
6	ЛЛH3圆弧 齿轮减速器 负荷试验	A=350(A ₁ =150 m ₁ =3 i=3.95 ε ₁ = 1.65 β ₁ =10°28'31" A ₂ =200 m ₂ =4 i ₂ =5.187 ε ₂ =1.65 β ₂ =10°28'31")	苏联巴尔 霍明克工 厂	同 左	68	1.96	10 ⁷	好 (M—高 速轴上小齿 輪) 好小齿 輪上出現 6 个 小 麻 点 (Φ1mm)	19.55	5.6	5 × 10 ⁶	麻点直径增至Φ1.5 mm, 无剥蚀	ЛЛH3圆弧齿輪的 力为ЛЛH330漸 輪425—5.6倍, 在 开始剥蚀, 在8.5 曲疲劳
					112.2	3.23	10 ⁷		25	7.0	5 × 10 ⁶	小齿輪开始剥蚀, 齿顶有飞刺	
					147.73	4.25	5 × 10 ⁶		30.3	8.5	9.3 × 10 ⁶	低速级小齿輪弯曲 疲劳裂痕和点蚀	
7	PH—400圆 弧齿輪减速 器尖峰负荷 试验	A=400(A ₁ =156 m ₁ =4 i=3.85 ε ₁ = 1.105 β ₁ =11°15'42" A ₂ =2.50 m ₂ =6 β ₂ =13°35'26" i=5.3 ε ₂ =1.245CT45)	大连起重 机厂	大连起重 机厂 大连工学院		2.5	10 ⁷	好		4.13	10 ⁷	大齿輪齿顶輕塑性 变形	PH400圆弧齿輪的 度为渐开綫齿輪的 折断强度在6倍以
						2.8	10 ⁷	大齿輪齿顶 出现飞刺		4.9	10 ⁷	大齿輪塑性变形, 但无点蚀出现	
						3.2	10 ⁷	同 上		6.0	26 × 10 ⁶	塑性变形, 无点蚀 和折断现象	
8	PM500圆弧 齿輪减速器 负荷试验	A=500(A ₁ =200 i ₁ = 5.93 m ₁ =4 ε ₁ = 1.55 β ₁ =14°41'11" A ₂ =300 i ₂ =5.06 m ₂ =6 ε ₂ =1.55 β ₂ = 14°41'11" CT45 H _B 大 =145—172 H _B 小= 197—245)	哈尔滨重 机厂	哈尔滨工 业大学	98.6	2.36	25 × 10 ⁷	好	142	3.4	25 × 10 ⁶	好	试验结果 PM500 輪减速器在为 P 开綫齒輪3.4倍負 作未发生任何破

序号	厂名	减速机 型号	应用产品		产量(台)			重量(吨)		齿轮材料		工 时		齿轮基本参数					圆弧齿轮使用情况		备 注
			名 称	型号和规格	60年 实际	61年 计划	至今 已圆 弧化 台数	原 来	圆 弧化 后	原 来	圆 弧化 后	原 来	圆 弧化 后	传动 功率 (KW)	传动 比 (1)	中心距 原 来	圆 弧化 后	已 使用 月数	工作 地点	情 况	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	上海起重机械厂	ZH250	电动双梁桥式起重机	5—10T	96	186	170	PM350 182	102	35 CT45	不变	52	41	4.2	16.5 24.6	100 150	不变				
		ZH350	"	15—50T	92	114	138	254	182	"	"	60	50	13	19.7 39.6	150 200	"				
		ZH250	皮带运输机	B500—650	18	73	34	182	102	碳钢	"	52	41	4.5	19.7 24.6	100 150	"				
		ZH350	"	"	16	190	58	254	182	"	"	60	50	10	"	150 200	"				
		ZH400	"	B500, 650 800, 1000	58	220	107	345	254	"	"	73	58	14	"	150 250	"				
		ZH500	"	B500, 650 800, 1400	39	185	80	878	345	"	"	98	70	28	"	200 300	"				
		ZH650	"	B800, 1400	23	159	58	1100	878	"	"	114	93	40	"	250 400	"				
		ZH750	"	B1000 1400	4	50	15	1462	1100	"	"	132	108	55	"	300 450	"				
		ZH850	"	"	5	63	19	1900	1462	"	"	152	125	75	"	350	"				
2	大隆机器厂		高速鼓风机	风量 200立米/分 风压 5000水柱			311	8	2.8	20×H 18×ΓT	30×H 30×MH	磨齿	精滚	250	3.375	500 280	280	6 5	上钢三厂 上钢一厂	齿轮运转、噪音和接触均好	
		11D45	高压水泵	400公升 250大气压			8														
		"	"	530公升 200大气压			2														
		ZH650	钢锭出料机																		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
3	上海鼓 风机厂		罗式鼓 风机	风量 10#84 M ³ /5 风压 3500	5	89	40	112	132	球墨 鑄鉄	45×	8	24	75	1:1	310	不变			采用圆弧齿輪 后轉速由560 轉/分提高到 1450轉/分便 風重增加三倍	
4	上海治 金山 机器厂	KrH 800 ZH400 ZH500	卷揚机	1.6M 双角		30	10	2.4	1.75	CT45 55JT	40×			95	24.6	1100	250				
5	上海永 昌良机 器厂	ZH400				50	50	0.4	0.25	CT45	不变	95				500	400				
		ZH500				50	1	0.8	0.45			125				650	500				
6	上海动力 机器厂	ZH350				130	61														
7	上海汽 轮机厂		"506" 透平压 縮机	350立 方米/ 分			52	475kg	34 kg	45# 40#	不变	120	90			500	400				
								18		4.5	CT4— 10							1			
8	合肥矿山 机械厂	皮带运 輸机			222					88T4 渗碳淬 硬 RC53 ~58	45号鋼 調质 HB240 —260	磨齿	精滾	2500	2.89	300	300		无詳 細報 表	該減速器轉數 8600轉/分,齿 輪綫速72米/ 分是当前国内 功率最大速度 最高的高速重 大圆弧齒輪, 运行一个月后 經厂內各部門 組成鉴定认为 滿意。	
9	嘉兴冶金 矿山机械 厂	卷揚机			100																

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
10	沈阳 山机器 厂	SKH250	煤气发生炉	8AД-13		26	8	0.148	0.088	CT45	CT45			6.1	19.8	350	250			
		SKH250	往复式给煤机			51		0.246	0.186	"	"			11.67	19.8	400	350			
		SKH500	双螺旋 高搬式 分級机	Φ2米		4		0.807	0.432	"	"			26.52	12.7	650	500			
		SKH500	沉没式	Φ2米				"	"	"	"			"	"	"	"			
		SKH500	高搬式	Φ2.4米		10		"	"	"	"			"	"	"	"			
		SKH750	园筒混合机	2.5米×5米		4		2.140	1.142	40×	"			87.5	22.7	850	750			
		SKH750	"	2.8米×6米		8		1.829	1.142	40×35 Л×H 55JI	CT45			87.5	22.7	750	750			原采减 速机是 非标准 的
		SZ-18	刮板运输机	CKP-11		(720) 1500		0.317	0.217	45× 20×	CT45		70%	11	19.8	210	180			非标准
		SZ-30	"	CTP-30		(80) 100		0.442	0.372	"	"		"	32	33	320	300			"
		非标准	真空过炉机	32平方米		25		0.316	0.122	"	"		50%	4.5	20.43	188	120			
		"	"	40平方米		10		0.310	0.122	"	"		"	4.5	"	188	120			
		"	立式离心脱谷 机			8	2			20×H 12×H ₁	"		60%	130						结构简 单加工 省事
		SKH500	沉没式	Φ3.4米				0.807	0.432	CT45 ₂	CT45 ₁			26.52	22.7	650	500			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
11	沈阳重型机器厂	IIA ₂ 750	800罐直机后台架				2	1													只
		IIA ₂ 1100	1100×2550单颚破碎机				1	1.34													变
		IIA ₂ 500	900×700四颚破碎机				1	0.137													齿
		II02384	3200×31磨磨机				2	0.998													型
		IIA ₂ 2600	2200×1300管磨机				2	37.696													未
		II0C800	2870×4700磨煤机				14	1													变
		II0C600	2500×3900磨煤机				17	0.88													重
		II0C450	350钢筋磨机				2	0.140													量
12	沈阳冶金机械修造厂	A=150 (代4220)	1200×1200球磨机				100	减轻 60%												M=3	节约
		IIA300 (代IIA400)	1500×1500球磨机				10	"												M=5	23 万元
13	哈尔滨重型机器厂	PM250—1000 PM250	固定式皮带机螺旋输送机		16742																
		PM350	试验用	2	2	2	323	159	CT45	CT45	CT45	615	420		15.32	350	250		哈工大	目前 PM350	
		PM500	"	3	2	2	478	327	"	"	"	780	615		15.32	400	350		"	PM500 I种 已试验完	
			"	2	2	2	1102	595	"	"	"	1090	919		30.75	650	500		"		