

新工艺新技术选编

主 编 苑希昌 张荣珍

副主编 王焕仙 孟海生

兵器工业出版社

新工艺新技术选编

主 编 苑希昌 张荣珍

副主编 王焕仙 孟海生

兵器工业出版社

(京)新登字049号

内 容 简 介

《新工艺新技术选编》是在目前实用性工艺技术书籍短缺的情况下编写的,它汇集了全国近年来在制造技术方面的新工艺新技术的精华,具有较强的针对性和实用性。

主要内容包括:机械加工工艺、刀夹模具、锻、铸、热处理与表面处理、焊接、光学零件的加工工艺、光学零件的特殊加工工艺等7大部分,共有13个专题。本书选编的新工艺新技术思路新颖、方法巧妙,并经过生产实践的考核检验,因此,不仅具有较高的社会效益,而且具有较高的经济效益。

本书为从事机械制造和光学加工的广大工程技术人员在现场工作中用以指导生产和解决技术难关提供借鉴,也可作为各大专院校有关专业的教学参考书。

新工艺新技术选编

苑希昌 张荣珍 主 编

王焕仙 孟海生 副主编

*

兵器工业出版社 出版发行

(北京市海淀区车道沟10号)

各地新华书店经销

五三一印刷厂印装

开本: 787×1092 1/16 印张: 41 字数: 1015.56千字

1994年2月第1版 1994年2月第1次印刷

印数: 1—2000 定价: 49.80元

ISBN 7-80038-757-7/T·22

前 言

工艺技术既是开发高新技术产品，更新老产品的技术基础，也是提高产品质量，提高生产效率，节省能耗、物耗，降低成本，改善劳动条件的技术基础，是提高企业社会效益和经济效益的重要途径。

目前国际范围内的竞争日益激烈，以市场为导向，不断地开发和生产高新技术产品是增强产品在国际市场上竞争能力的有效手段。然而，高新技术产品是靠先进工艺和装备来保证的。为此要求工艺技术不断地跟踪国际先进技术。

但是，在科学技术是生产力的今天，工艺技术的保密性胜于产品的保密性，制造技术的相互封锁，在一定程度上影响了高新产品的开发和发展。近几年来各有关单位十分重视工艺技术的研究和开发，并取得了很多可喜的成果，为了使有些解密成果能得以广泛的推广和应用，使之尽快地转化为生产力，取得更大的经济效益，我们编写了《新工艺新技术选编》一书。

《新工艺新技术选编》一书是在广泛征集稿件的基础上，采精搜要，着眼实用，从制造技术的全面着眼，综合编选了各有关专业的新工艺新技术等方面的内容。本书除详细介绍了机械加工中的新工艺新技术外，还重点而且较全面地介绍了光学零件的加工和特种加工工艺。这是目前一些书中所少见的，也是从事光学零件加工的专业人员所渴望的；除此以外全书对各有关技术的介绍都是结合具体产品加工中的应用予以介绍的，而且力求准确、可靠。所以，该书具有较强的针对性和实用性，采用书中所列各工艺与技术将会取得显著的经济效益。

我们在编写本书的过程中得到了各有关单位和同志们的大力支持，在此向他们表示衷心的感谢。由于时间仓促和我们的水平所限，难免有不足之处，欢迎广大读者指正。

目 录

第一部分 机械加工工艺

1.1	低温车削	(3)
1.2	大球面靠模车削	(7)
1.3	渐厚小径均变螺杆的车削	(9)
1.4	重型汽车车架纵梁加工工艺	(12)
1.5	微机控制微孔钻削加工	(16)
1.6	CNC微孔高速精密钻床	(25)
1.7	精密孔的加工工艺	(29)
1.8	重型、超长机件的深孔加工	(34)
1.9	反拉法高速切削特细长轴	(37)
1.10	拉铰法加工薄壁合金缸体内孔	(41)
1.11	用车床拉削轮毂的楔键槽	(43)
1.12	热作低温冲头的研究	(47)
1.13	小孔网板的冲孔工艺	(50)
1.14	大型覆盖件上孔的冲压	(53)
1.15	板料斜面冲孔技术	(57)
1.16	活定位冲裁不等距的孔	(60)
1.17	无屑加工深通孔、深盲孔的挤光工艺	(62)
1.18	电子冷冻磨削加工	(65)
1.19	电化学机械镜面加工	(68)
1.20	在2m磨床上磨削3m细长活塞杆	(70)
1.21	采用平面研磨机精加工柱塞外圆表面	(73)
1.22	锥形三角花键塞规的磨削与测量	(76)
1.23	特型轴承内外环的加工	(80)
1.24	在Y3150型滚齿机上加工少齿数大螺旋角的圆柱齿轮	(84)
1.25	拉削工艺用的双旋塞式锁紧套	(87)
1.26	用轴向移位法加工大变位正齿轮	(90)
1.27	铣削较大内圆弧半径尺寸的工艺	(92)
1.28	油马达短幅外摆线的简易加工法	(95)
1.29	低频振动攻丝	(98)
1.30	应用浮动镗刀镗孔	(100)
1.31	振动抛光加工	(102)
1.32	摩擦拉延工艺	(105)

1.33	低参数电解加工工艺	(108)
1.34	自行车前叉锥管轧辊辊道成形工艺	(110)
1.35	外循环滚珠螺母的加工工艺	(116)
1.36	梯形螺纹副的高效加工法	(120)
1.37	辐筋结构塑料制件注射法	(124)
1.38	聚氨酯橡胶模非金属材料冲裁工艺	(127)
1.39	采用喷吸钻加工深孔工艺	(131)

第二部分 工具类

2.1	内孔微量切削车刀	(135)
2.2	多台阶成型车刀	(137)
2.3	低温刀具系统	(138)
2.4	新型铲齿成形铣刀的工艺及设备	(142)
2.5	复合镗刀盘在加工中心上的应用	(149)
2.6	攻丝-倒角组合刀具	(151)
2.7	$\phi 76\text{mm}$ 通孔套料刀的设计与应用	(154)
2.8	推刀-挤光刀的应用	(159)
2.9	可旋转螺旋升角的弹性刀杆	(164)
2.10	摩擦进给铰孔工具	(166)
2.11	车削8字形油槽的附件设计	(167)
2.12	车削曲轴的轴向定程装置	(170)
2.13	机夹滚压工具	(172)
2.14	改进弹簧夹头精度的新方法	(174)
2.15	冷冻强力永磁吸盘	(176)
2.16	三爪卡盘的改装设计	(180)
2.17	推拉式差动进给镗孔装置的应用	(182)
2.18	X63铣床加工长齿条	(186)
2.19	铣磨钻复合夹具	(188)
2.20	铣圆柱凸轮夹具	(190)
2.21	回转式镗双孔通用夹具	(193)
2.22	可保证螺母高度及端面跳动度的车端面夹具	(195)
2.23	延长寿命的冷冲模结构设计	(197)
2.24	锌基合金超塑成型制模工艺	(200)
2.25	中深锥形件拉延模	(204)
2.26	模具光整加工技术	(206)
2.27	阶梯凸模的妙用	(209)
2.28	利用变形规律简化冲压凸凹模形状	(210)
2.29	耐热高强度锌合金快速制模技术	(213)

2.30	黄铜散热片成形工艺及其模具设计	(215)
2.31	厚壁塑料件防凹陷工艺设计	(218)
2.32	前轮轴的锻造及镶块套模设计	(221)
2.33	提高热锻模使用寿命的途径	(223)
2.34	等离子喷焊高温合金粉末在热拔伸模上的应用	(225)
2.35	大型熔模精铸件的钢筋壳模工艺	(230)

第三部分 锻铸类

3.1	重型汽车转向节的锻造	(235)
3.2	收割机护刃器联合锻造工艺	(238)
3.3	汽车半轴锻件在空气锤上的胎模锻造	(243)
3.4	螺旋压力机模锻工艺的特点	(246)
3.5	闭式预锻、开式终锻工艺	(255)
3.6	伞齿轮的粉末精密锻造工艺	(258)
3.7	变速箱同步齿圈的材料与成型工艺	(262)
3.8	集材拖拉机支重轮热压成型工艺	(269)
3.9	十字轴锻件的径向挤压成型工艺	(271)
3.10	旋压成型技术	(273)
3.11	1Cr18Ni9Ti高精度薄壁管旋压工艺	(278)
3.12	摩托车离合齿轮端面齿形的摆辗成型	(284)
3.13	平板式楔横轧技术	(287)
3.14	注塑模型腔的超塑成型	(292)
3.15	一种新型金属板成型工艺	(295)
3.16	提升机“畚斗”零件一次拉伸成型工艺	(300)
3.17	用低温增碳工艺在感应炉内熔炼可锻铸件	(303)
3.18	高炉冷却壁的铸造工艺	(307)
3.19	HT30~54铸铁棒底注式铸造工艺	(310)
3.20	陶瓷型精密铸造大型复杂不锈钢件工艺	(316)
3.21	厚实平板类铸铁件的典型工艺	(318)
3.22	石膏在熔模铸造易熔合金压型中的应用	(320)
3.23	纯冰覆膜冷砂造型	(324)
3.24	熔模铸造不焙烧制芯工艺	(328)
3.25	电子冷冻铸造	(330)
3.26	用纤维型过滤网提高球铁件合格率	(334)
3.27	复杂型腔铸件的电化学清理	(336)
3.28	复合制壳工艺	(339)
3.29	CAD在铸造工艺上的应用	(340)

第四部分 热处理、表面处理、焊接工艺

4.1 防止带凸缘工件淬火开裂的方法	(347)
4.2 3Cr3W8V钢中温强化淬火方法—— $\phi 700\text{mm} \times 240\text{mm}$ 支承铰链 模具热处理	(350)
4.3 深冷处理对高速钢切削工具寿命的影响	(353)
4.4 模具钢的高温固溶快速球化处理	(356)
4.5 高速钢刀具的低温渗碳处理	(358)
4.6 碳氮氧共渗工艺	(360)
4.7 激光处理对钢管类零件抗烧蚀性能的影响	(363)
4.8 钢铁零件的碱性氧化	(365)
4.9 碱性柠檬酸盐镀光亮厚铜	(369)
4.10 代镉镀层(锡/锌二元合金)电镀工艺	(372)
4.11 铝及其合金低铬复合电镀	(374)
4.12 离子交换树脂不完全再生处理镀铬废液	(377)
4.13 新型化学镀工艺的应用	(382)
4.14 激光焊接桥丝技术	(384)
4.15 铸铁冷焊新技术在设备大修理中的应用	(386)
4.16 塑料焊接工艺	(389)
4.17 空气乙炔焊炬的研制及应用	(392)
4.18 富氩混合气体($\text{Ar} + \text{CO}_2$)自动焊	(395)
4.19 活塞及轴承架氧-乙炔焰堆焊黄铜工艺	(397)
4.20 可锻铸铁与A5钢异种钢焊接工艺	(401)

第五部分 光学零件的加工工艺

5.1 光学玻璃的型料精化与精密压型	(407)
5.2 超声振动研磨	(411)
5.3 透镜单片加工高效生产工艺	(414)
5.4 光学零件冷加工高效工艺	(419)
5.5 固着磨料高速抛光工艺	(421)
5.6 光学透镜单片聚氨酯抛光工艺	(423)
5.7 五棱镜第二屋脊面抛光工艺	(425)
5.8 三棱镜弹性上盘法抛光工序的改革	(429)
5.9 在分离器中借助辅助块修抛六面棱镜的角度误差	(431)
5.10 加工长方体的准确方法	(432)
5.11 大透镜球心偏差的又一控制方法	(435)
5.12 激光技术应用于光学透镜定心	(438)

5.13	用“球面石膏盘法”成盘加工样板	(444)
5.14	球面镜盘快速算法	(446)
5.15	光胶垫板主要技术指标的给定及应用	(452)
5.16	超高精度玻璃圆球的加工	(456)
5.17	用切割分离法加工小型斜方棱镜	(458)
5.18	大口径环形平边透镜加工	(460)
5.19	棱镜滚角工艺	(462)
5.20	高精度补偿板和半透半反板的加工	(464)
5.21	锥体棱镜的加工	(466)
5.22	大型光学六面体的加工	(470)
5.23	金属锥筒形非球面镜超光滑表面的加工方法	(474)
5.24	柱面样板的加工	(476)
5.25	三爪式摆动架装置	(479)
5.26	采用计算机辅助设计加工非球面	(482)

第六部分 光学零件的特种加工工艺

6.1	“J-646”新型光学光敏胶胶合工艺	(489)
6.2	三色彩色光栅的制造	(493)
6.3	特殊测标板的工艺改进	(496)
6.4	瞄准镜分划板的刻制	(498)
6.5	一种简易可行的长形零件刻划冷蜡涂覆法	(501)
6.6	丝网漏印工艺在光学分划板中的应用	(502)
6.7	用拼刻法刻制大型中间板	(505)
6.8	金属分划板的制作与应用	(507)
6.9	光学干版和制版软片的研究	(509)
6.10	平视取景相机取景框生产工艺的改革	(513)
6.11	应用高分辨率超微粒干板直接摄制分划镜	(515)
6.12	用302负型光刻胶刻制光学度盘	(517)
6.13	真空镀铝新工艺	(519)
6.14	利用射频等离子体沉积技术制备DLC膜	(521)
6.15	透明导电薄膜的制备	(524)
6.16	宽光谱透过的立方二向分光镜	(527)
6.17	采用氮氛激光作光源程控镀制6328Å高反射膜技术	(533)
6.18	膜厚控制用石英晶片的再生工艺	(534)
6.19	塑料透镜表面预处理及其镀膜工艺	(537)
6.20	光学塑料镜片镀硬膜	(542)
6.21	光学薄膜低压反应离子镀	(545)
6.22	金刚石薄膜的制备及其应用	(548)

6.23	DZQ3-1型新型磁偏转电子枪系统	(553)
6.24	宽束冷阴极离子源和镀膜新工艺	(555)
6.25	ZDK-C真空镀膜参数控制系统	(557)
6.26	CR-39光学树脂镜片的浇铸	(563)
6.27	光学塑料透镜注射模模芯的加工	(567)
6.28	PMMA注射工艺	(569)
6.29	非球面塑料透镜注射型芯工艺	(573)
6.30	浸没式锗透镜加工工艺	(576)
6.31	大口径锗单晶的切片工艺	(581)
6.32	尿素晶体的加工	(583)
6.33	硼酸钕铝小型激光棒的加工	(585)
6.34	偏硼酸钡(BBO)晶体的加工	(588)
6.35	全息图大规模模压复制技术综述	(590)
6.36	浮雕全息图的制造	(592)
6.37	全息金属模板的制造工艺	(596)
6.38	模压复制及烫印转移技术	(600)

第七部分 其 它 类

7.1	一种新型的节水阀	(607)
7.2	聚氨酯弹性体研制——矿用单轨吊驱动轮外衬橡胶	(609)
7.3	玻璃纤维增强酚醛热固性注射塑料	(614)
7.4	塑料电镀粗化液的回用	(618)
7.5	工业炉气流控制节能技术	(620)
7.6	钢套离心镶铜工艺	(622)
7.7	无机粉末注射成型技术	(627)
7.8	ZL301合金废料的回收	(632)
7.9	激光扫描多功能在线检测系统在机械制造检测中的应用	(634)

第一部分

机 械 加 工 工 艺

1.1 低温车削

沈阳工业学院 李战 李文彬

随着科学技术的飞速发展,出现了许多难以加工的新材料,这给切削技术增加了很大难度。采用低温技术可圆满地解决难加工材料的机械加工问题。

一、低温加工特性

1. 低温加工中工件材质的性能变化

工件材料经冷冻后硬度提高,塑性降低,有利于韧、粘性材料的加工。

2. 低温加工中切削力的变化

在低温加工中,根据工件材质的不同,切削力会发生明显的变化。例如碳钢在 10°C 时的切削力为 510N ,在 -20°C 时降为 380N 。

3. 低温加工后的表面粗糙度

低温加工有利于加工表面粗糙度的降低。

4. 低温加工后对材质性能等的影响

低温加工后对工件尺寸精度的影响经测试证明,由于温度变化引起的尺寸差异,在一般精度要求下完全可以忽略。

低温加工对刀具耐用度有明显提高。这是由于工作温度低,工件的韧性及粘性下降改善了材质的可加工性,切削热立刻被带走,刀具始终在较低温度下工作。

低温加工后工件的残余应力比普通加工下降 $2/3$ 。

二、低温车削装置

电子冷冻车削装置如图 1.1 所示。冷盘是冷源的提供者。

半导体制冷也叫温差制冷,简称为电堆、冷堆、冷盘,热泵或电子制冷。

半导体制冷器的运行方式有两种,一种是在最佳电流 I_m 下工作,此时冷盘有最大温差;另一种是以最大制冷效率运行,此时电流约比 I_m 下降100%左右。

冷盘设计时,应按最大效率计算。应参考如下条件。

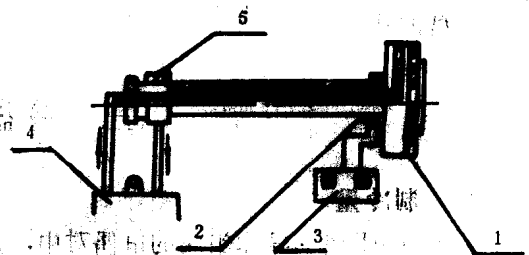


图 1.1 电子冷冻车削装置
1—冷盘; 2—直流输入驱动; 3—特种电源;
4—水箱及水泵; 5—循环水输入及输出装置

- (1) 根据工件尺寸, 确定冰层局部溶化后重新结冰所需时间。
- (2) 根据加工参数确定切削热。
- (3) 确定散热量。
- (4) 冷盘应具有的吸热能力。
- (5) 选择电偶对尺寸, 决定电流, 确定每对电偶制冷能力, 决定电偶对数。
- (6) 根据车削的特殊要求对冷盘的结构进行设计。

此外, 设计时还应特别注意冷盘在 0°C 附近的降温特性, 以保证溶化后的冰层能够及时重新结冰。

为了满足低温车削的要求, 设计了一级车削冷盘, 其结构如图1.2所示。

图1.2所示的冷盘是以铜片串联N型流经P型半导体而形成的, 使直流电流从N型流经P型半导体时, 上部的金属片将从周围吸热, 实现了制冷。吸收了热能的电子通过下部的金属片迁移到N型半导体内, 再把热放出。如果将直流电源反接, 则冷热端就会互换。

图1.3为一级车削冷盘的排列方式。

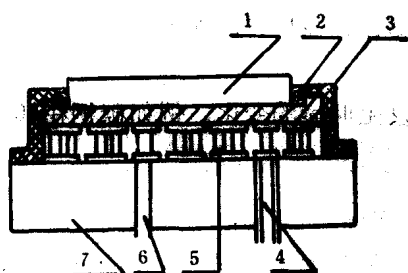


图1.2 一级车削冷盘结构

1—工件, 2—液膜冰层, 3—保温套;
4—正极, 5—电偶对, 6—负极, 7—水箱

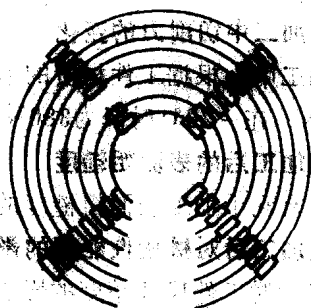
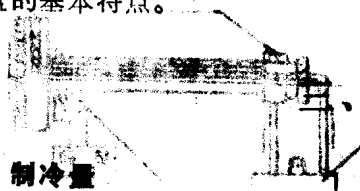


图1.3 一级冷盘排列

一对半导体热电偶制冷量是有限的, 把规格相同的电偶对按照电路的串联方式和热的并联方式连接而成, 就是一个一级冷盘。当要求冷盘有更低的温度时, 就用多级冷盘, 使下面的一级冷端带走上面一级热端产生的热量。为此, 下面一级要比上面一级元件的电偶对数多很多。

一般常用冷盘为1—3级, 最大制冷可达 -90°C 。为了降低成本, 可采用混合制冷方式, 即用冷泵冷却制冷器的热端, 这种方式可使冷端温度达到 -45°C — -60°C 以下, 同时保持了冷盘的基本特点。



二、冷盘的设计参数

1. 制冷量

由N型和P型半导体组成的电偶对中, 通入直流电后, 交界处在1s之内放出或吸收的热量(珀尔帖热 Q_p)与电流强度 I 成正比。

实际上制冷量 Q_c 是小于珀尔帖热的, 这是因为热端要沿温差电偶臂向冷端传递热量 Q_k , 另外当电流通过电偶臂时产生焦耳热, 焦耳热的一半也传给冷端。

2. 消耗电功率

半导体制冷装置所消耗的功率 P （输入电功率），就是热端散掉的热量与冷端吸收的热量之差，它由两部分组成，即温差电偶臂上产生的焦耳热所消耗的功率 P_T 和克服温差电动势时所消耗的功率 $P_{\Delta T}$ 。

四、低温车削工艺

由于被加工工件靠冰层紧固，因而冰层厚薄及其均匀性，对实现冷冻车削具有十分重要的作用。为此，可在冰板上开出相当密度的环形沟槽，以保证冰层的等厚性及增加结合强度。由于冰层导热性差，故其厚度应很小，保证其导热效果。经测试证明，只有当工件与冷板间静态剪切力大于1.2MPa，其动态剪切力大于0.12MPa的时候，才能满足切削要求。

从使用中发现，用冰溶液冰层作液膜冰液时，结合不牢，自然回溶很快，效果不理想。配制的液膜冰液，冷冻力大而结合牢固，能承受较大的冲击力，且能重复使用，回溶很快，只需10min左右。配方见表1.1，其中表面活性剂为741系统基苯酚的环氧乙烷合成物，增强剂为可溶性淀粉，增塑剂为明胶，防腐剂为尼泊金乙酯。导热剂为氧化铜，防锈剂为烷苯聚乙醚。

实现快速冷冻的一个关键是工件与冷板的接合面是否严密，接合面间的表面换热系数是否高。有一种方法是在接合面中加少量的导热胶。如用润滑脂粘合，在残留空气时产生的切削热能很好地由冷盘带出，而紧固工件仅靠四周的冰层。这时加入的冰液主要是起固化增强作用，不要求导热，故要求浓度大，结合力强，回溶慢。我们采用的一种方法是加入四周液膜冰液，其配方见表1.2。

车削时，根据所采用的冷盘特性，适当调整车削用量和采用适当的车削方法。

电子冷冻车削装置可对钢件、有色金属，塑料及橡胶等进行车削加工。

从加工情况看，电子冷冻车削结合力比真空吸盘大很多，可靠性高，能消除在切削过程中切削热对变形的影响，尺寸比较稳定，消除部分应力，但在加工过程中应注意冰层溶化和返霜情况，以利再结冰。为此，应根据工件的导热性，选择适当的切削用量，为避免冰层溶化现象的发生，可用慢、快进给来解决。一般以快速加工为好，即每一次快进刀，停数秒后再进刀，这就防止了冰层溶化。

液膜冰液是进行低温车削加工的关键，要求精度适宜，快速固结，不允许发空声。

表1.1 表面液膜冰液配方

成份	水	表面活性剂	增强剂	增塑剂
加入量/g	100	0.05~0.2	1~5	5~6
成份	防腐剂	强塑剂	导热剂	防锈剂
加入量/g	0.2	0~5	0~5	0.2

表1.2 四周液膜冰液配方

成份	水	增塑剂	增强剂	防锈剂
加入量/g	至100	3~10	2~8	0.05

五、低温车削操作过程

铝合金薄片件可加工到1mm以下，粗糙度比室温加工降低一级，操作过程如下：

(1) 先通冷却循环水，后通电，使冷堆开始工作，如出水温度过高，则应降低入水温度或增大冷却水流量。

(2) 将被加工件均匀沾上一层液膜冰液贴在冷盘上，并加一定预压力，以保证其等厚性，经冷冻1—3min后，然后启动车床进行加工，或将工件贴到冷盘上经3min后，就用手搬动床头，加工时，边回转冷盘边用大型注射器向工件四周喷冷冻液。为了速冻，可在溶液中加放少许速冻剂（如0.01%~0.1%）。

(3) 根据被加工材质选定冷冻温度及切削用量进行加工，调整导电表磁钢，使指示在需要控制的温度上，导电表在温度降至给定值时，可控硅闭合，蓝灯显示，表示开始恒温。

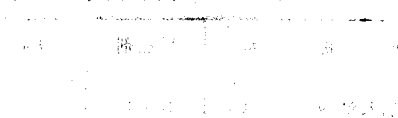
(4) 加工完毕，启动反向开关，使冷堆电源反接，约0.1—0.2min就可将工件卸下，但不断流。

(5) 经常检查循环水源是否接通，该机装有断水自动保护电路，水断，铃响，主电路不通，冷堆不工作。

(6) 停工时，先关电源，后闭水源。

(7) 本机装有恒温断路节电电路。

图 5-1 冷堆控制电路



1.2 大球面靠模车削

重庆市望江机器厂 罗凯

采用靠模车削大球面，其加工后的球面表面粗糙度 R_a 值可达 $1.6\mu\text{m}$ ，形状误差小，不仅外表面质量较高，而且工效也可提高 3—4 倍，大大降低了工人的劳动强度。

一、靠模结构简介

大圆球面靠模车削，是在 C630 型车床上进行的，其工作简图见图 1.4。

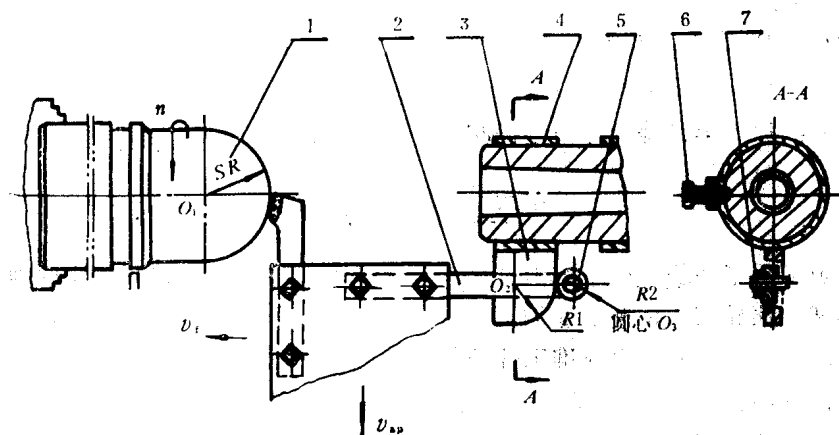


图1.4 靠模工作简图

1—工件；2—滚轮架；3—靠模；4—靠模架；5—滚轮；6—紧定螺钉；7—销

靠模 3 预先对焊在靠模架 4 上，靠模架通过旋转压在尾座套筒键槽的螺钉 6 而固定在尾座套筒上；滚轮 5（可用滚动轴承）用销 7 装在滚轮架 2 上，滚轮工作时紧贴靠模，滚轮架另一端应压紧在刀台上。

若需加工其它半径的球面，可先在已焊好的靠模上钻几个螺孔，以便将待加工球面的靠模连接在原有靠模上，进一步扩大加工范围。

二、车削原理与靠模设计

1. 车削原理

令靠模圆弧圆心为 $O_2(x_0, y_0)$ ，滚轮中心为 $O_3(x, y)$ ，建立图 1.5 示坐标。

由图知： $O_2O_3 = R_1 + R_2$

$$\text{即 } \sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} = R_1 + R_2$$