

数控机床基础知识



机械工业出版社

内 容 简 介

本书是一套关于数控机床的中级科技读物中的一本。全套书将系统地介绍数控机床的基本概念与基础知识、程序编制、数控装置、伺服驱动系统及测量元件、数控机床及有关技术标准等,并举出了一些实际电路和具体参数,分册出版。本书介绍了数控机床的基本概念、数控技术的运算基础、逻辑代数、基本逻辑电路和部件。可供具有中等文化程度的从事数控机床设计和使用的广大工人和技术人员在实际工作中参考。

数 控 机 床 基 础 知 识

树 志 编著

*

科 学 出 版 社 出 版

北京朝阳门内大街 137 号

沈阳市第一印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1978年6月第 一 版 开本: 787·1092 1/32

1978年6月第一次印刷 印张: 3 7/8

印数: 0001—100,160 字数: 73,000

统一书号: 15031·170

本社书号: 1005·15—3

定价: 0.33 元

目 录

第一章 数字控制机床的基本概念	1
一 什么是数字控制机床	1
二 数控机床的产生和发展	3
三 数控机床的基本工作原理	7
四 数控机床的分类	15
第二章 数字控制技术的运算基础	23
一 计数制：十进制与二进制	23
二 二进制与十进制数的相互转换	27
三 二进制编码的十进制	30
四 循环码(格雷码)	32
五 数的表示——原码、补码和反码	36
六 二进制数的加减乘除运算方法	39
第三章 逻辑代数	51
一 逻辑代数的基本运算	52
二 逻辑代数的基本关系式	53
三 逻辑代数的应用	58
第四章 基本逻辑电路和部件	67
一 基本逻辑电路	68
二 触发器	75
三 计数器	80
四 寄存器	93
五 加法器	97

六 串行运算器	99
七 二-十进制数至二进制数的转换.....	100
八 译码器	103
附录一 逻辑电路图形符号标准(试行)	106
附录二 逻辑电路图形符号标准(试行)编制说明	114

第一章 数字控制机床的基本概念

一 什么是数字控制机床

数字控制(以下简称数控)是一门用以自动地控制机床、设备或生产过程的新技术。所谓数控,就是指用于控制机床或其他设备的操作指令(或程序)以数字形式给定的一种新的控制方式。当将这种指令提供给数控机床的控制装置时,机床便能按照给定的程序,自动地进行工作。

数控的概念通常也可包含在“自动化”的范围之内。但是,数控与我们过去一般概念中的自动化(如用于大批大量生产中的自动机床和自动线等)又有所区别。

采用数控方式工作的机床同其他各种自动化机床的一个显著的区别,在于当这种机床上的加工对象改变时,除了重新装卡工件和更换刀具外,一般只要更换一下控制介质(如穿孔卡、穿孔带、磁带、或改变拨码开关的位置等),即可自动地加工出所需要的新的零件来,而不必对机床作任何的调整。在自动加工循环中,它不仅能对机床动作的先后顺序以及其他各种辅助机能(如主轴转速、进给速度、换刀和冷却液的开关等)进行自动控制,还能控制机床运动部件的位移量,其所能

完成的这些自动控制的机能都是由以数字和文字编码方式存放在控制介质上的控制指令，通过数控装置的处理而实现控制的。因此，我们把这种机床称作“数字控制机床”(以下简称“数控机床”)。在“程序控制机床”中，控制系统只能控制自动加工循环中各种动作的先后顺序，对于机床运动部件的位移量则不能进行控制，仍要靠预先调整好尺寸的挡块等方式来保证。因而这种机床无论是在适应性方面，还是加工精度方面都远不及数控机床。

数控机床的特点之一是它所采用的程序指令。制备程序指令比起制作自动机床上采用的凸轮、靠模、或调整限位开关等要简便得多，因而生产准备时间可以大大缩短。

数控机床的另一个特点是它的适应性。数控机床可以随着加工零件的改变，迅速地改变它的机能。这对于产量小、种类多、产品更新频繁、生产周期要求又短的飞机、宇宙飞船、以及类似产品研制过程中的高精度、复杂形状零件的加工，具有无可比拟的优越性。不仅如此，数控机床的适应性，即使对于同类零件系列中不同尺寸零件的加工，甚至用不着更换刀具和夹具，只要更换一根程序带，就可以从一种尺寸零件的加工改为同一系列中另一尺寸零件的加工，通常更换穿孔带是很快的，所以机床实际停工时间是很短的，主要是装卸零件或按需要更换刀具或夹具的时间，这样使得机床的利用率可以大大提高。

数控机床的使用范围，原则上可以不受什么限制，但在实际应用时必须充分考虑其经济效果。由于这类机床技术上较

复杂,成本又高,在目前阶段还比较适用于单件、中小批量生产中精度要求高、尺寸变化大、结构形状比较复杂,或在试制中需要多次修改设计的零件加工,以减少或省去制作大量的样板、模具等工艺装备,缩短生产准备周期,提高劳动生产率和加工精度,减轻操作工人的劳动强度,降低生产成本。特别是对于产品批量不大、结构形状复杂、精度要求高的宇航工业,采用数控机床加工,对提高产品质量、加速国防建设具有重大意义。

目前虽然由于数控机床的设备成本比较高,使用还不很普遍,但随着数控技术的普及和机床造价的进一步降低,可以预见到在不远的将来,数控机床的使用范围会越来越广,将成为广泛实现单件、小批生产机械加工自动化的重要途径之一。

二 数控机床的产生和发展

近年来随着科学技术的迅速发展,机械产品的形状和结构不断地改变着,这就要求机床设备具有较大的灵活性和通用性,以适应生产对象的频繁变化。这对于象宇航工业、舰船制造、武器生产等国防工业部门中加工批量不大、改型频繁、精度要求高、结构形状又很复杂的一类零件的加工,如何来降低它的劳动强度,提高它的加工质量和生产效率,是一个迫切需要解决的问题。它推动着机械加工方法和机床设备必须作出相应的改变。另一方面要求不断地提高机床的生产效率和自动化程度,始终也是机床工业发展的重要方向之一。

在大批大量生产中,这个问题由于自动线、组合机床和各种专用的自动化单机的广泛采用,已经得到了较好的解决。但是,在占机械加工总量 80% 以上的单件,中小批量生产加工自动化问题,长久以来得不到较为满意的解决。

数控机床的出现,为解决上述问题提供了广阔的前景。它是近二十多年来综合地应用了计算技术、自动控制、精密测量、伺服驱动和机床结构设计等各个技术领域里的最新成就而发展起来的一种既具有广泛的通用性,又具有很高的自动化程度的全新型的机床。

数控机床的研制,在世界上美国是最早开始的。回顾一下数控技术的发展,毫不例外地也是和制造某种产品的实际需要密切联系的。就在第二次世界大战结束后不久,美国为了争夺世界霸权,加速发展飞机和军火工业。空军部门面临着需要制造一种用以加工和检查形状复杂的飞机零件的高精度检查工具的任务。1948 年美国有一家帕森斯公司 (Parsons Co.) 正承担了一项研究设计加工直升飞机螺旋桨叶轮廓用检查样板的加工设备任务,向美国空军部门提出了革新这种样板加工设备的新方案,由此产生了研制数控机床的最初萌芽。

1949 年作为这一方案的主要承包者帕森斯公司,正式接受美国空军部门的委托,在麻省理工学院伺服机构试验所 (Servo Mechanismus Laboratory of the Massachusetts Institute of Technology) 的协助下,开始从事数控机床的研制工作。经过三年时间的研究,于 1952 年试制成功了世界上第一台数控机床试验性样机。这是一台采用脉冲乘法器原理的直线插补三座

标连续控制铣床 (Cincinnati Hydrotel), 数控装置体积比机床本体还要大, 电路中采用电子管元件。

1959 年数控装置由电子管元件过渡到采用晶体管和印刷电路板元件, 结束了数控装置第一代的发展而进入了第二代。1960 年以后, 点位控制机床在美国得到了迅速发展。数控技术不仅在机床上得到了实际应用, 而且逐步被推广用到冲压机、绕线机、焊接机、火焰切割机、包装机和坐标测量机等上面。在程序编制方面, 已由手工编程逐步发展到采用计算机自动编程, 除 APT 程序语言外, 又发展出了各种专用程序语言, 如 CAMP、SNAP、AUTOMAP、SPLIT、AUTOPROPS、AUTOSPOT、AUTOPROMT、COMPACT 等。1965 年出现了商品化集成电路数控装置, 不仅缩小了数控装置的体积, 减小了功耗, 并使系统的可靠性得到了进一步的提高, 象征着数控装置已进入了发展的第三代。与此同时, 廉价数控装置和适应控制机床在市场上也先后相继出现。

1970 年美国芝加哥国际机床展览会上, 第一次展出了采用小型计算机的计算机数控装置 (简称 CNC) 和由计算机直接控制多台机床的系统, 或称直接数控系统 (简称 DNC)。标志着数控装置进入了以小型计算机为其特征的第四代。

二十多年来, 数控机床经历了研究、试制 (1948—1955 年)、工业应用 (1956—1959 年) 和高速发展 (1960 年以后) 三个发展阶段, 实践经验证明, 数控机床在提高机床效率, 节省人力, 提高加工精度, 降低加工费用等方面都具有很大的优越性。特别是数控机床可以显著地减少工夹模具, 缩短新产品

试制周期,有利于加速新产品试制,因此数控机床目前不仅成为资本主义国家军工厂中必不可少的设备,同时也深受一般民用机械加工工业的欢迎。如日本《应用机械工学》杂志于1970年对一些工厂调查的结果,据称日本约有50%的数控机床集中于机床行业,20%集中于一般机械工业中的其他行业。

我国发展数控机床方面的工作开始于1958年。当时在大跃进形势鼓舞下,首先由清华大学最早搞出了试验性样机。此后一、两年间全国有不少高等院校、研究单位和工厂都相继开展了数控机床的研究工作。如XKL5025型两座标数控铣床曾在生产验证中发挥过一定的作用。

1966年直线-圆弧插补晶体管数控装置试制成功,这是我国第一台能用于生产的第二代数控装置。

但是,在这段时间内我国数控机床的发展,由于受到刘少奇、林彪特别是“四人帮”的反革命修正主义路线的干扰和破坏,进展还是相当缓慢的。

在毛主席的革命路线指引下,全国各有关工厂、科研单位和高等院校的广大革命群众,遵照伟大领袖毛主席“中国人民有志气,有能力,一定要在不远的将来,赶上和超过世界先进水平”的教导,在各地党委一元化领导下,以阶级斗争为纲,坚持党的基本路线,广泛发动群众,贯彻独立自主、自力更生的方针,遵循“鞍钢宪法”实行广泛的三结合,大力协同,针对数控机床存在的重大技术关键问题进行了攻关,使得我国数控机床的发展进入了一个新的跃进阶段。

近一、两年来全国各地已陆续搞出了不少数控机床新产品,其中有些机床已用于生产。七十年代初研制成功了集成电路数控装置,使我国的数控装置跨入了第三代,技术水平大大地前进了一步。

在机床品种发展方面,目前已有数十种数控机床通过了鉴定和生产验证,可以投入小批生产,其中象数控线电极切割机已成批供应用户。数控立铣、劈锥铣床、非圆齿轮插齿机和数控座标镗床等亦已生产不少。再有象数控自动换刀镗铣床数控车床、数控转塔镗铣床、高速钻床、数控压力机、绘图机等新品种亦已正式投产。除此之外,各地从需要出发,发动群众,因地制宜地还自制了一些数控机床。

在为数控机床配套用的元、部件方面,如穿孔机、光电输入机、滚珠丝杠、电液脉冲马达、功率步进电机、电液伺服阀、感应同步器、光栅、磁尺、数码显示装置、恒温油箱和数控机床用刀具系统,以及机外对刀装置等也都在配套生产。其他基础技术工作如数控程序语言和计算机自动编程方面的研究,以及与数控机床有关的各种技术标准的制订工作等都已有了不同程度的进展。

从以上情况可以看出,近年来我国数控机床技术发展形势大好,进展是快的,技术水平较前几年已有了大幅度的提高。

三 数控机床的基本工作原理

数控机床是怎样工作的?它包括那些部分?我们准备一

• 7 •

个一个地加以介绍,先从数控机床的基本结构框图说起。

数控机床与一般通用机床的区别在于:机床主体结构简单了,传动齿轮减少了,但在机床旁边要增加一个至几个数控柜,包括数控装置、伺服驱动装置和穿孔纸带等。它的基本框图如图 1-1 所示。穿孔纸带用孔的排列形式记载着要求加工零件的尺寸和形状、加工路线和工艺要求。简单说来,人们要求机床运动的“命令”都记载在穿孔纸带上。数控装置接受穿孔纸带的讯号进行运算和控制,它相当“神经指挥系统”,它指挥的方式是以一个一个脉冲向外输出。伺服驱动装置接受这种脉冲,再加以功率放大,用以驱动机床的传动部件。在图 1-1 中,可以看到,机床旁边还有一个测量部件,这是为了进一步提高加工精度,显示和测量机床的实际工作位置而设立的,我们又称为测量装置。

数控机床的工作过程是:根据所选用的“标准代码”和被加工零件的图纸编制程序,制作穿孔纸带,然后将穿孔纸带放置在数控装置的光电输入机上,再由数控装置去控制机床工作。什么叫“标准代码”?“代码”是数控装置的一种“语言”,它是由数字码和文字码所组成,是按照一定规律排列的信息表达体系。为了有利于生产使用、科研、技术发展、联机控制

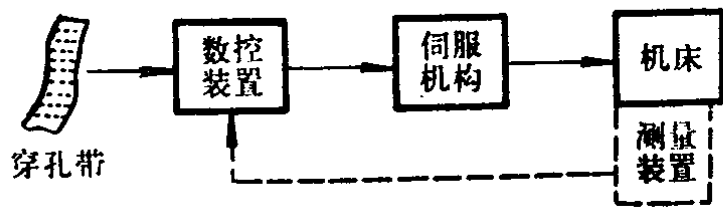


图 1-1 数控机床的基本结构框图

和通讯联络,人们希望数控装置做到标准化、通用化,能采用通用的“语言”,即标准代码。目前,世界上常用的标准代码有两种,一种叫 EIA 代码(Electronic Industries Association),是美国电子工业协会制定的一种代码。另一种叫 ISO 代码(International Organization for Standardization),是国际标准化机构制定的,为世界大多数国家所采用,我国也决定采用 ISO 代码为数控机床的标准代码。这种代码,规律性比较强,有利于程序编制、控制、操作和维修,有利于数控技术的普及,推广和使用。

根据选用的标准代码和被加工零件的图纸来编制程序,大致有三个步骤:①按照零件图纸进行数据处理,②编写程序单,③按照程序单制作穿孔纸带。

我们以一台冲床工作为例(图 1-2 是编制程序示意图),冲头运动的方向为 Z 坐标,向上为 +Z,向下为 -Z,冲头在 A 点冲一个孔后要沿 +X 方向移动 40 毫米准备在 B 点冲孔。我们分三步来进行编程:

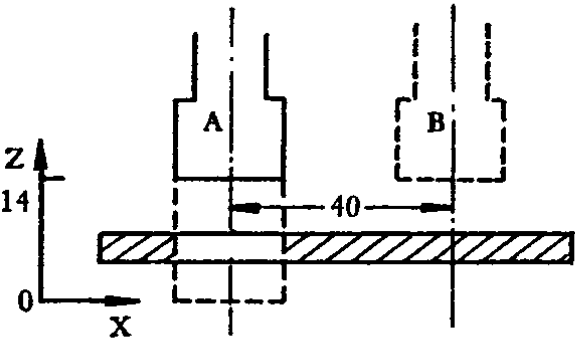


图 1-2 编制程序示意图

①根据零件图纸,选定程序的起点和加工路线,并计算每段程序所需移动的坐标增量值。我们假设在第一段程序时,冲头已由坐标原点移到 A 点位置,假设每一个脉冲当量为

0.01 毫米。则可列出下面几段程序：

第 2 段：从 A 点冲头沿 -Z 方向移动 14 毫米，座标增量 $\Delta Z_2 = 14$ 毫米 = 1400 个脉冲。

第 3 段：冲头沿 +Z 方向返回 A 点，座标增量 $\Delta Z_3 = 14$ 毫米 = 1400 个脉冲。

第 4 段：冲头沿 +X 方向，从 A 点移至 B 点，座标增量 $\Delta X_4 = 40$ 毫米 = 4000 个脉冲。

②编写加工零件的程序单

将上述通过计算得到的各种程序的座标增量值，以及选定的工艺参数，用数字和文字符号的形式分别填入程序单上（见表 1-1）。其中 F_1 、 F_2 、 F_3 表示不同的进给速度，NL 表示一个程序段结束的符号。

表 1-1

序号	座标轴	运动方向	座标增量值 (脉冲数)	座标轴	运动方向	座标增量值 (脉冲数)	进给速度	其它机能
2				Z	-	1400	F_1	NL
3				Z	+	1400	F_2	NL
4	X	+	4000				F_3	NL

③按照程序单,制作穿孔纸带

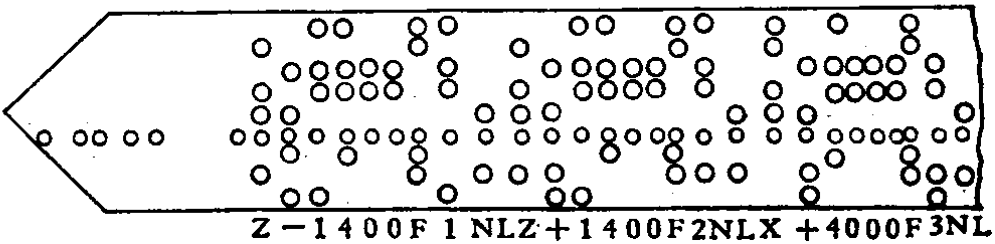


图 1-3 穿孔纸带

穿孔纸带是在八单位穿孔机上制作的,按上述程序单制作的一段穿孔纸带如图 1-3 所示,穿孔带上每排是一个字,顺序排列为

.....Z - 1400F₁NLZ + 1400F₂NLX + 4000F₃NL

光电输入机的基本结构如图 1-4 所示。它包括灯泡、透镜、光敏元件、主动轮、起动电磁铁、停车棒、停止电磁铁等几部分。当纸带在输入机上走过时,灯源通过透镜照射到纸带上,在纸带一排孔的下方配置有 9 个光敏元件(8 个用于信号孔,一个用于中导孔);用光电管受光 and 不受光的情况来表示纸带上孔的有无,光敏元件受光后,经过放大器放大为一个规定的电平信号,送到数控装置内,数控装置就接收到相应的电信号 I₁、I₂、.....I₈、I₉。光敏元件放大的示意图如图 1-5 所示。

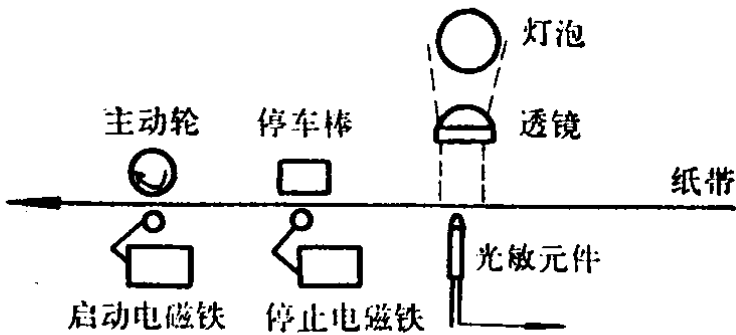


图 1-4 光电输入机基本结构

纸带一排孔一排孔地从光电管上面经过,光电管就把这一排一排的信号逐个送入数控装置,直到读入“NL”程序段结束信号时,纸带停止前进,待数控装置进行这一段的运算和控制,运算的结果以脉冲的形式一个一个向外输出,当这一段的增量脉冲全部输出完毕时,数控装置自动发出一个起动信

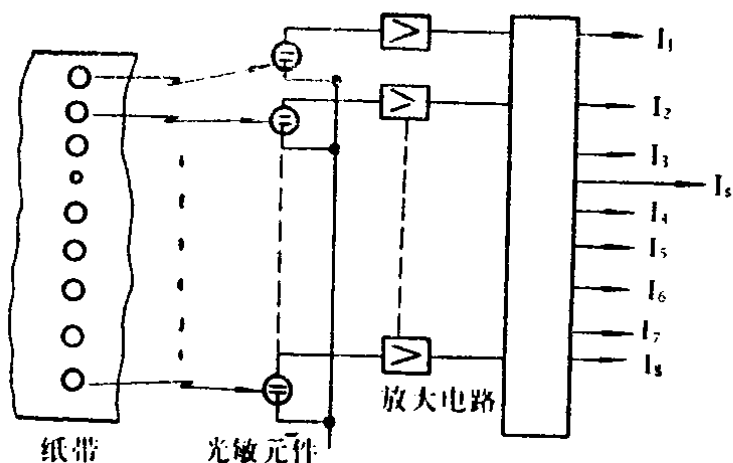


图 1-5 光敏元件放大示意图

号使光电输入机再次起动,读入下一个程序段,同样也是在读到 NL 时停下来,纸带上一个新的程序段又送入到数控装置,进行新的运算和控制。如此循环下去,直至纸带信息输送完毕。因此,穿孔纸带在数控装置中输入的方式是一段一段进行的,每输入一个程序段就停顿一下,停顿的时间就是数控装置运算和分配这一段程序脉冲的时间。

下面再谈谈在数控装置中运算和控制的原理。数控装置中的核心部分是插补器。什么叫插补?我们以图 1-6 为例,要

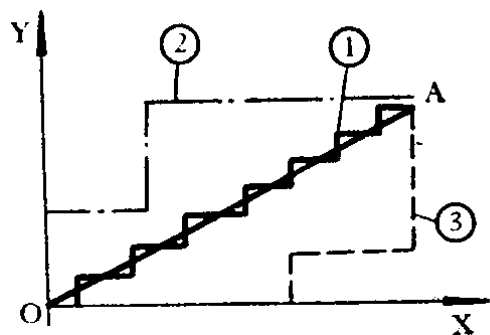


图 1-6 插补的折线

以几段折线逼近 OA 直线,显然第①条折线误差最小,第②、③条折线误差最大,在数控装置中进行插补,就是希望得到第①条那样误差最小的逼近线段。所谓插补,就是

沿着规定的线段,在一个线段的起点和终点之间,进行数据的密化工作,用一个一个脉冲把起点和终点之间的空白填补

起来,且逼近的误差要小于一个脉冲当量。能完成这种运算功能的电路叫插补器。

我们以逐点比较法为例,介绍一下插补器的基本工作原理:

在图 1-7 中, A 点是在以 R_0 为半径的圆弧上,所以 $X_0^2 + Y_0^2 = R_0^2$, P 点是被加工的一点, $X_i^2 + Y_i^2 = R_p^2$, 设这两点的偏差值为 $F_{(i,j)}$,

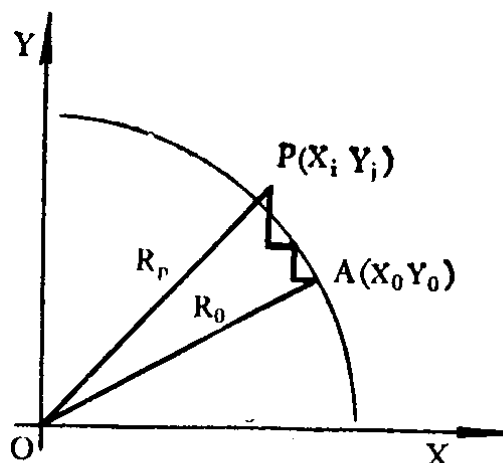


图 1-7 插补一段圆弧

则有: $F_{(i,j)} = R_p^2 - R_0^2$
 $= X_i^2 + Y_i^2 - (X_0^2 + Y_0^2)$ 。

我们加工一段圆弧,希望得到一条以原点为圆心的等距线,而实际工作中,是以一个一个脉冲输出的,因而加工轨迹是一条很细密的折线,要求这条折线始终朝着与等距线偏差最小的方向前进,偏差小于允许值,这样才能得到一条符合精度要求的圆弧来。

当向 $-X$ 方向发一个脉冲时,

$$\begin{aligned} \text{则 } F_{(i+1,j)} &= (X_i - 1)^2 + Y_i^2 - (X_0^2 + Y_0^2) \\ &= X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i + 1 - (X_0^2 + Y_0^2) \\ &= F_{(i,j)} - 2X_i + 1。 \end{aligned}$$

若 $F < 0$ 说明该点在圆弧内,下一步应该向 $+Y$ 方向发一个脉冲,使折线接近圆弧,

$$\begin{aligned} \text{则, } F_{(i,j+1)} &= X_i^2 + (Y_i + 1)^2 - (X_0^2 + Y_0^2) \\ &= X_i^2 + Y_i^2 + 2Y_i + 1 - (X_0^2 + Y_0^2) \end{aligned}$$