

红石电子学

玩《我的世界Minecraft》 学逻辑电路和计算机原理

程晨 著

本书可以教你

- ✓ 逻辑运算与远程控制
- ✓ 搭建逻辑门电路
- ✓ 数字电路和计算机系统的原理
- ✓ 在《我的世界》中搭建一个小型计算机



中国工信出版集团

人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

“十三五”

国家重点图书出版规划项目



中国电子学会现代教育技术分会创客教育专家委员会 中国创客教育联盟 推荐

红石电子学

玩《我的世界Minecraft》
学逻辑电路和计算机原理

程晨 著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (CIP) 数据

红石电子学：玩《我的世界 Minecraft》学逻辑电路和计算机原理 / 程晨著. — 北京：人民邮电出版社，2019.7

(创客教育)

ISBN 978-7-115-50978-9

I. ①红… II. ①程… III. ①游戏程序—程序设计
IV. ①TP317.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第049437号

内 容 提 要

《我的世界 Minecraft》是一款风靡世界的沙盒游戏，该游戏以玩家在三维空间中自由地创造和破坏不同种类的方块为主题。玩家在游戏中像堆积木一样对方块进行组合与拼凑，可以轻而易举地制作出小木屋、城堡甚至城市。

《我的世界》中除了普通方块以外，还包含了一种能够传递能量的物质。再加上对能量的控制，就能让玩家在游戏中完成逻辑运算与远程控制。这种能够传递能量的物质叫作红石，对应搭建的装置叫作红石电路。

本书的内容基本按照半导体元器件的发展递进，从与、或、非这样的逻辑门开始，再通过基本的逻辑门实现锁存器、二分频电路、计数器、译码器、存储器等功能器件的搭建。

◆ 著 程 晨

责任编辑 韩 蕊

责任印制 彭志环

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号

邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

临西县阅读时光印刷有限公司印刷

◆ 开本：690×970 1/16

印张：7.25

2019 年 7 月第 1 版

字数：152 千字

2019 年 7 月河北第 1 次印刷

定价：59.00 元

读者服务热线：(010)81055493 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

FOREWORD

前言

《我的世界 Minecraft》是一款风靡世界的沙盒游戏，该游戏以玩家在三维空间中自由地创造和破坏不同种类的方块为主题。玩家在游戏中像堆积木一样对方块进行组合与拼凑，可以轻而易举地制作出小木屋、城堡甚至城市。

除了普通方块以外，游戏中还包含一种能够传递能量的物质，加上对能量的控制，玩家就能完成逻辑运算与远程控制。这种物质叫作红石，对应搭建的装置叫作红石电路。

最开始接触红石电路时，我也只能完成一些简单的装置，比如红石大炮、自动门之类。那时对于功能强大的红石方块并没有多少了解，就好像我们刚开始学习电子电路知识，只知道电灯通电能亮一样。之后，随着我对红石方块学习的深入，从基本的红石火把，到红石比较器和红石中继器，我了解得越来越多，我突然意识到这些红石方块和电子电路中的半导体器件非常相像，这才进一步有了这本书的构思。

本书内容

本书的内容基本按照半导体元器件的发展递进。当然，最开始讲述的不是二极管，而是与、或、非这样的逻辑门，然后通过基本的逻辑门实现锁存器，再进一步开始制作二分频电路、计数器、译码器、存储器等功能器件，制作内容一直延续到第15章。

之所以本书采取这样一个逻辑结构，其实也是因为我原来很想用基本的分立器件（二极管、三极管）搭建一个小型计算机（4位），不过因为这项工程浩大，所以迟迟没有动手。到目前为止，我所做的工作仅仅是用二极管搭建了一个ROM。不过这件事一直放在我心里，当我了解了红石方块之后，就想到，其实我可以在《我的世界》中搭建一个小型计算机来验证自己的想法，而且还不存在占用物理空间的问题，就算搭错了，改起来也很方便。于是我就边搭建边整理内容，同时给《爱上机器人》杂志投稿。在基本完成一个计算机系统后，稿件在人民邮电出版社编辑朋友的帮助下，就变成了你手中的这本书。当然，本书中除了制作计算机的相关内容外，还有一些通过红石电路制作的装置，比如刷石机、老虎机、物

品自动分拣系统等。

面向的读者

本书并不是单纯地教大家如何玩《我的世界》中的红石电路，同时也讲解了一些数字电路和计算机系统的原理。在编写本书的过程中，我重新把大学《计算机原理》这门课程的教材翻了好几遍。

本书面向的是希望在《我的世界》中创建较为复杂装置的玩家，或是希望通过一种简单的方式来了解计算机原理的读者。在阅读完本书后，大家可以尝试着制作红石电梯、红石飞行器、红石自动农场等装置，我相信在有了逻辑电路方面的知识后，大家会更好地理解这些装置的工作原理。为了更适合读者阅读，本书采用全彩色印刷，这样书中的图片看起来会更加直观明了。最后还是要感谢现在正捧着本书的你，感谢你肯花费时间和精力阅读本书。由于我的水平有限，书中难免存在疏漏与错误，诚恳地希望你能批评指正，你的意见和建议将是我的宝贵财富！

程晨

2019.2

CONTENTS

目录

1	基本逻辑门	1
1.1	非门	2
1.2	或门	5
1.3	与门	6
2	异或门和同或门	8
2.1	3种基本逻辑门的符号	8
2.2	异或门和同或门	9
3	锁存器	14
3.1	RS或非门锁存器	14
3.2	RS与非门锁存器	15
3.3	带使能的锁存器	16
4	二分频电路	19
4.1	红石中继器	19
4.2	二进制的计数器	22
5	二进制计数器	28
5.1	可以进位的计数器	28
5.2	用clone指令复制红石电路	31

6	简化的二进制计数器	34
6.1	发射器和投掷器	34
6.2	红石比较器	36
7	振荡电路	43
7.1	水火不容	43
7.2	刷石机	45
7.3	自动刷石机	48
7.4	建造一根柱子	49
7.5	建造一面墙	50
7.6	建造四面墙	52
7.7	建造屋顶	52
7.8	滚动显示墙	53
8	数码管	56
9	数码管驱动	62
10	译码器	68
10.1	搭建译码器	68
10.2	74LS47 芯片	72
11	只读存储器	74
12	随机数发生器	84
13	老虎机	90
13.1	制作老虎机	90
13.2	中奖概率	92
13.3	增加投币装置	94
14	物品自动分拣系统	102
15	存储器	107

基本逻辑门

《我的世界 Minecraft》是一款风靡世界的沙盒游戏，该游戏以玩家在三维空间中自由地创造和破坏不同种类的方块为主题。玩家在游戏中像搭积木一样对方块进行组合与拼凑，可以轻而易举地制作出小木屋、城堡甚至城市。《我的世界》着重于让玩家去探索、交互。除了普通方块以外，游戏环境功能中还包括植物、生物与物品，甚至还包括能够完成逻辑运算与远程控制的红石电路。

红石电路就是本书的主角，在《我的世界》中，红石是开采红石矿（Redstone Ore）后所取得的红石粉末（Redstone Dust）的简称（注意需用铁镐或钻石镐开采）。游戏中的红石矿如图 1.1 所示。



■ 图 1.1 游戏中的红石矿

图中带有红色斑点的石块就是红石矿。由于《我的世界》的资深玩家才会研究红石电路，所以本书并没有从游戏入门部分开始，而是默认大家已经能够实现游戏的基本操作，比如打开物品栏、选择物品等。

挖掘一个红石矿能够得到至少 4 个红石粉末，红石粉末的最大特点就是能够传递能量，这有点像现实世界中的导线能传递电流。用红石粉末配合一些能够充能的方块（比如活塞、红石灯等），我们就能够搭建出复杂的逻辑系统。

在本章中，我们先来通过红石电路实现电子电路中最基本的逻辑门。逻辑门（Logic Gates）是集成电路（Integrated Circuit, IC）上的基本组件，简单的逻辑门可以使代表

两种信号的高、低电平在通过它们之后产生指定的高电平或者低电平信号。高、低电平可以分别代表逻辑上的真与假，或二进制当中的1和0，从而实现逻辑运算。而红石电路是通过有能量和无能量来代表逻辑上的真与假。最基本的逻辑门包括与门、或门、非门，这3种门再经过组合就能够形成各种各样的逻辑电路。（说明：其实，与门也可以由非门和或门组合完成，但通常认为与、或、非是3种最基本的逻辑运算。）

下面我们就在《我的世界》中完成这3种基本逻辑门。

1.1 非门

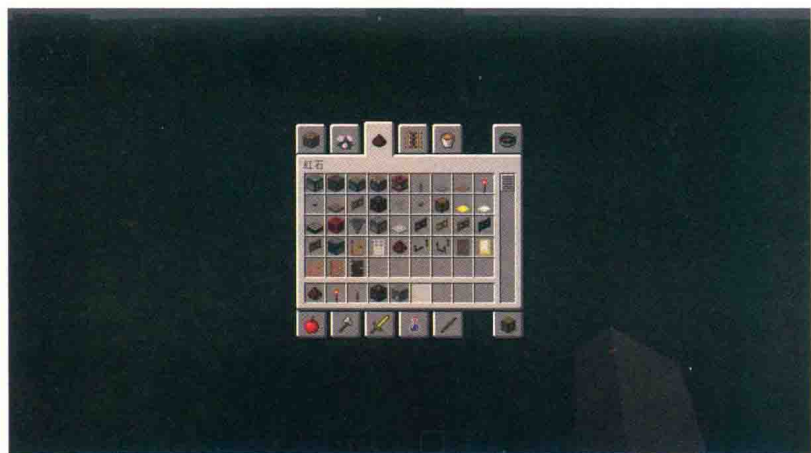
非门又称反相器，是逻辑电路的基本单元，非门有一个输入端和一个输出端。逻辑符号中输出端的圆圈是反相的意思。当其输入端为逻辑真时，输出端为逻辑假；当其输入端为逻辑假时，输出端为逻辑真。也就是说，输入端和输出端的逻辑状态总是相反的。

那么，在《我的世界》中该如何实现非门呢？在具体操作之前，我们需要了解一下红石电路中除了红石粉末之外的相关方块或物品。我们可以把这些物品大致分为输出能量的物品和接收能量的物品两类。

其中输出能量的物品能够自动输出能量（如红石块）或通过玩家操作输出能量（如拉杆、按钮），而接收能量的物品在接收到能量后会发生变化，比如发光（如红石灯）、发声（如音符盒）或形态变化（如活塞）等。

其中有一个叫作红石火把的物品，很多人将其划分为输出能量的物品，但由于红石火把会受到外部能量的影响，我将其划分为接收能量的物品。而我们制作非门，利用的就是红石火把的这个特性。

接下来，我们开始在游戏中制作非门。打开游戏，进入或创建一个创造模式的世界，将红石、红石火把、拉杆和红石灯放入物品栏，同时再放入一个石块，如图1.2所示。



■ 图1.2 将红石、红石火把、拉杆和红石灯放入物品栏

我们先来搭建一个最简单的红石电路——用拉杆控制一个红石灯的亮灭（见图 1.3），这有点像搭建一个用开关控制灯亮灭的电路。



■ 图 1.3 最简单的红石电路

大家会发现这个红石电路好像和我们接触的电子电路不太一样：它并没有形成一个回路。这是因为电子电路是通过电路中的电流来驱动元器件的，而红石电路是通过能量来驱动相应物品的。这里我在电路左侧放置一个红石灯，此时这个灯并没有得到能量，所以是熄灭的状态；我在电路右侧放置一个拉杆，拉杆能够输出能量，但此时处于未输出能量的状态。我在拉杆和红石灯之间铺了一些红石粉末来传递能量，我们能够看到红石粉末铺在地上非常像红色的导线。

接下来我们拨动拉杆，让其输出能量，点亮红石灯，如图 1.4 所示。



■ 图 1.4 拨动拉杆，点亮红石灯

此时我们看到，拉杆上面的把手变换了方向，同时地上的红石粉末也变得发亮，这表明红石粉末上是有能量的，而这个能量就来自于拉杆。能量经过红石粉末传递给了红石灯，红石灯收到能量之后就被点亮了。

大家在使用拉杆时要注意，如果我们只放置一个拉杆，其实无法直观地看到拉杆是否能输出能量。在拉杆没有连着能够显示能量的物品时，它的变化就只有把手方向的变化。因此，上页电路中的红石粉末是非常重要的，当然，如果这个红石粉末不是连续的，那么拉杆的能量也无法传递给红石灯。

当我们再次拨动拉杆把手时，拉杆变成不输出能量的状态，这时红石灯就会熄灭，再次回到图 1.3 所示的状态。这就是一个最简单、最基本的红石电路。

下面该红石火把登场了。前面说过，红石火把会受到外部能量的影响，我们在红石灯上插一个红石火把。为了对比，我们在旁边也插上一个红石火把，如图 1.5 所示。



■ 图 1.5 在红石灯和红石灯的旁边分别插两个红石火把

此时，我们会发现插在红石灯上的红石火把是灭的（火把的头是暗红色的），而插在旁边的红石火把却是燃烧的。红石灯上的红石火把之所以是灭的，是因为下面的红石灯是有能量的。红石火把的特性就是当有外部能量时，自己就处于熄灭状态。我们可以将拉杆拨动一下，这样拉杆处于不输出能量的状态，对应的红石粉变暗，红石灯熄灭，红石火把反而燃烧起来了，如图 1.6 所示。



■ 图 1.6 点亮红石火把

此时我们就已经制作了一个非门：当输入为逻辑真（有能量）时，输出为逻辑假（没有能量）；当其输入为逻辑假（没有能量）时，输出为逻辑真（有能量）。实际上，红石火把还可以插在方块的侧面，如图 1.7 所示，这样我们就构建了一个看起来比较完整、能够应用的非门。



■ 图 1.7 一个能够应用的非门

图 1.7 中原来插红石火把的红石灯被换成了石块，在原本红石灯的左侧，我又放置了一个红石灯。能用石块替换红石灯的原因就是接收能量这个功能是大多数方块都有的（玻璃不能接收能量），但只有像红石灯这样的方块才能将能量体现出来，而石块这种方块是体现不出来的。但这并不影响石块上插的红石火把改变状态。在图 1.7 中，拉杆通过红石粉连接到了石块，石块上插着一个红石火把，而在红石火把的下方又铺着红石粉。这些红石粉能将红石火把的能量传递给最左侧的红石灯。此时，当输入端拉杆有能量输出时，输出端红石灯没有能量，为熄灭状态；而当输入端拉杆没有能量输出时，输出端的红石灯却将被点亮。这就是一个之后我们能够应用的非门，确切地说，除去右侧的拉杆和左侧的红石灯，中间的部分才是我们要的非门。

1.2 或门

相对于非门的一入一出，或门是多入一出的，即有多个输入，但只有一个输出。在或门的多个输入中，只要有一个为高电平（逻辑真），那么输出就应该是高电平（逻辑真）；只有所有输入全为低电平（逻辑假）时，输出才为低电平（逻辑假）。对应到《我的世界》中就是：多个输入中，只要有一个为有能量的状态（逻辑真），输出端就应该输出能量（逻辑真）；当所有的输入都是没有能量的状态（逻辑假）时，输出端才不会输出能量（逻辑假）。

或门的实现比较简单，2 路输入和 3 路输入的情况如图 1.8 所示。



■ 图 1.8 或门电路

或门电路相当于一个有很多头且相互连接的导线，这些头中只有一个输出，而剩余的输入中，只要有一个有电，那么整条导线都是有电的，当然输出也是有电的。在《我的世界》中，同样是这个原理，只是将导线换成了红石粉末。在图 1.8 中，左、右两个电路都是红石的或门电路，不同的是左侧有 2 个输入，右侧有 3 个输入。我们拨动左侧的一个拉杆，整个红石粉末都会变成亮的，同时红石灯点亮；如果要让红石灯熄灭，则需要让所有的输入都不输出能量才行。右侧电路也是如此。

1.3 与门

最后来说说与门，与门和或门类似，都是多入一出的，即有多个输入，但只有一个输出。跟或门不同的是，在多个输入中，与门只有全部输入都是高电平（逻辑真）时，输出才为高电平（逻辑真）；当任意一个输入为低电平（逻辑假）时，输出就是低电平（逻辑假）。对应到《我的世界》中就是：多个输入中，只要有一个是没有能量的状态（逻辑假），输出端就不会输出能量（逻辑假）；只有所有的输入全都是有能量的状态时（逻辑真），输出端才会输出能量（逻辑真）。

与门实现起来比或门要难一些，不过我们可以这样想，如果在或门前面加上一个非门（实际上这样的门电路叫作或非门），那么逻辑关系就变成了：如果输入中只有一个有能量（逻辑真），那输出端就不会输出能量（逻辑假）；而当所有的输入全部为没有能量的状态（逻辑假）时，输出端反而会输出能量（逻辑真）。这个描述是不是和上面与门的描述有点像呢？我们用表格将两者的逻辑关系表示出来，如表 1.1 所示。

表 1.1 或非门和与门

或非门		与门	
全为假	输出真	全为真	输出真
任意一个真	输出假	任意一个假	输出假

根据表 1.1，我们可以知道，只要把或非门的输入全部再加上一个非门，那它就会变成与门了，搭建之后的与门如图 1.9 所示，这里以两路输入一路输出为例。



■ 图 1.9 与门电路

如图 1.9 所示，当只有其中一个拉杆变成输出能量的状态时，都不会影响中间红石粉末的状态，自然也就不会改变最后红石灯的状态。当两个拉杆都是不输出能量的状态或只有其中一个拉杆输出能量时，红石灯都不会被点亮（逻辑假）；只有当两个拉杆都输出能量、对应的两个红石火把都变成不输出能量的状态时，中间的红石粉才会变暗，才能让最后的红石灯点亮（逻辑真）。

至此，我们就在《我的世界》中完成了 3 种基本的逻辑门，而且还顺便介绍了或非门。后面，我们会基于这 3 种基本门来实现一些小的场景应用。大家快去亲手试一试本章所讲的内容。

2

异或门和同或门

上一章，我们在《我的世界》中实现了3种基本逻辑门——与门、或门和非门。为了方便后面内容的表述，我们先介绍一下这3种门电路在逻辑电路中的符号，然后会完成1个异或门和1个同或门的搭建。

2.1 3种基本逻辑门的符号

1. 或门

在逻辑电路中，或门的符号如图2.1(a)所示。

其中左侧为输入，右侧为输出。在逻辑图的绘制中，我们通常会用引出的线段表示具体的输入/输出，前面我们也介绍过或门是多入一出的

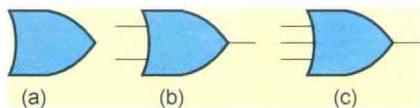


图2.1 或门在逻辑电路中的符号

门，所以一般左侧会有多条线段，而右侧只有一条线段。图2.1(b)左侧有2个输入，右侧有1个输出；而图2.1(c)左侧有3个输入，右侧有1个输出。

2. 非门

非门的功能是反转逻辑信号，有一个输入和一个输出，在逻辑电路中用一个方块加一个圆圈表示，如图2.2(a)所示。其中，圆圈一端表示输出，另一端表示输入。

图2.2(a)是独立的非门表示方法，如果非门与其他门电路结合，一般在输出增加一个圆圈代表反相，假设要在或门的输出端增加一个非门变成或非门，则直接在或门输出端增加一个圆圈，如图2.2(b)所示。

3. 与门

与门也是多入一出的，在逻辑电路中其符号如图2.3(a)所示。

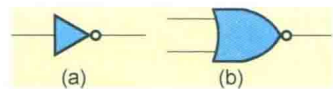


图2.2 非门在逻辑电路中的符号

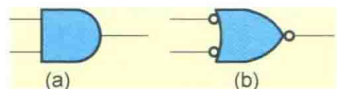


图2.3 与门在逻辑电路中的符号

从上一章的内容我们能够知道，利用非门和或门也能组成一个与门，其对应的逻辑电路如图2.3(b)所示，即在或非门中的每一个输入上都增加一个非门。这种门电路的逻辑

符号转换在后面的内容也会用到，所以大家最好自己画一画。

2.2 异或门和同或门

了解上述符号之后，我们来完成一个逻辑电路中非常重要的门电路——异或门。异或门也是多入一出的，而多输入异或门可由2输入异或门构成。异或门实现的功能是判断输入端是否相同，如果相同则输出低电平（逻辑假），如果不同则输出高电平（逻辑真）。对应到《我的世界》中，就是多个输入中，只有全部相同，才不会输出能量（逻辑假）；而当输入中有一个不同时，输出就会输出能量（逻辑真）。异或门的逻辑电路符号如图2.4所示。

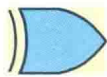


图2.4 异或门的符号

之所以说异或门非常重要，是因为2输入的异或门能够实现二进制的加法，即 $1+0$ 或 $0+1$ 等于1。不过由于异或门只有一个输出，无法完成进位操作，即在 $1+1$ 的情况下只能显示出个位等于0，而不能显示出进位的1，只能说2输入的异或门能够实现半个二进制加法，因此2输入的异或门在逻辑电路中也叫作半加器。

在了解了异或门可实现的功能后，我们来分析一下如何搭建一个2输入异或门。通过观察之前的3个基本逻辑门，我们能够发现2输入的或门非常接近半加器要实现的功能。对于2输入或门来说，如果每个输入都表示一个二进制的数，输出表示两个数相加的结果，那么或门电路输入与输出关系就如表2.1所示。

表2.1 或门输入与输出关系

输入1	输入2	结果	对应运算
0 (假)	0 (假)	0 (假)	$0+0$
0 (假)	1 (真)	1 (真)	$0+1$
1 (真)	0 (假)	1 (真)	$1+0$
1 (真)	1 (真)	1 (真)	$1+1$

由表2.1能够看出，2输入的或门只有 $1+1$ 的情况与2输入的异或门实现的功能不一样，其他3种情况都和异或门实现的功能一样。对于异或门来说，当2个输入都为真时，输出应该为假，而或门输出的结果为真。

如果想要调整这个结果，我们就需要在或门的后方再添加一个门，这个门应该是一个2输入的与门，其中一个输入是之前或门的输出，另一个输入需要在或门两个输入都为1的情况下使输出为0，这样才能保证最后的输出实现半加器功能，对应的逻辑电路如图2.5所示。3个输入以及最后的输出关系如表2.2所示。

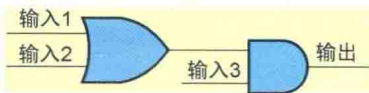


图2.5 异或门的部分实现原理图

表2.2 3个输入以及最后的输出关系

输入1	输入2	或门输出	输入3	最终输出
0 (假)	0 (假)	0 (假)	x	0 (假)
0 (假)	1 (真)	1 (真)	1 (真)	1 (真)
1 (真)	0 (假)	1 (真)	1 (真)	1 (真)
1 (真)	1 (真)	1 (真)	0 (假)	0 (假)

表2.2中的x表示输入真假都可以，如果这里输入的为假，那么输入状态直接就和最后的输出一样了，所以可以认为输入3中的第一项是一个真。由此我们可以得到一个输入1、输入2与输入3的对照表（见表2.3），而通过该表能够发现输入3可以通过一个与非门由输入1和输入2得到。

由此，我们只要增加一个与非门就能够搭建出一个半加器，如图2.6所示。

表2.3 由与非门得到输入3

输入1	输入2	与门	与非门（输入3）
0 (假)	0 (假)	0 (假)	1 (真)
0 (假)	1 (真)	0 (假)	1 (真)
1 (真)	0 (假)	0 (假)	1 (真)
1 (真)	1 (真)	1 (真)	0 (假)

因为我们要在《我的世界》中实现这个异或门，所以还要把图2.6中的与门和与非门转换成或门和或非门的形式，最后完成的逻辑电路如图2.7所示（注意与非门中两个非门相互抵消了）。

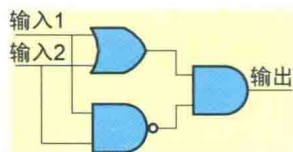


图2.6 异或门的实现原理图

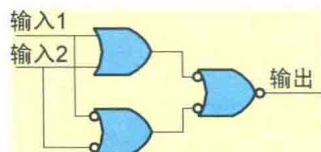


图2.7 异或门实现原理图的转换

有了图2.7，我们就可以在《我的世界》中搭建2输入的异或门了。由于或门是利用红石粉末将几个方块连在一起的，所以我们先从左下方的部分开始搭建，如图2.8所示。

我们将左上方的或门简化成一个拉杆输入，操作时，只要在左侧两个拉杆都不输出能量的情况下，将上方的拉杆也切换到不输出能量的状态，就能很直观地看到这个异或门的运行状态了。

对于未完成的或门来说，可能要稍微麻烦一些。如果直接将左侧两个拉杆连在一起完成或门，一个拉杆的状态就会影响另一个拉杆的输出，进而影响整个门电路的工作，所以在