

防幼儿跌落窗户开口自动调节装置设计

徐爱群,刘倩玉,顾前行,李 聪,杨浩燃

(浙江科技学院 机械与能源学院,杭州 310023)

摘 要:近十年来,儿童爬上窗户坠楼造成伤害的事件在全国各地时有发生,为此分析市面上的智能窗户,发现目前并无专门防范儿童坠落的窗户装置。结合防护安全知识,分析2~8岁儿童的身高和步速,根据光电检测原理,设计能够根据身高检测传感器判断有无儿童经过以相应调节窗户开口大小的装置;进而对装置主要构成部分的动力输出、丝杠传动做详细的分析,并对运动箱结构进行精心的设计;运动箱利用椭圆长短轴之差和开合螺母的特性实现运动控制。研究结果可为专门防儿童爬窗坠落机构设计提供参考。

关键词:防儿童爬窗;椭圆槽转盘;身高检测;开口大小自动调节

中图分类号: TH113.23

文献标志码: A

文章编号: 1671-8798(2020)01-0013-06

Design of automatic adjusting device for preventing children from falling opening window

XU Aiqun, LIU Qianyu, GU Qianxing, LI Cong, YANG Haoran

(School of Mechanical and Energy Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, Zhejiang, China)

Abstract: In the past ten years, incidents of casualties caused by children climbing on windows to fall have occurred from time to time across the country. Accordingly, by analyzing smart windows available on the market, it is found that there are currently no window devices specially dedicated to preventing children from falling. In combination with relevant knowledge of safety protection involving height and pace speed of children aged from 2 to 8, and in accordance with the principle of photoelectric detection, the whole scheme of the device can be designed to detect presence of children passing through and thus adjust the size of the window opening according to the height detection sensor. Then the scheme could make a detailed analysis of the power output and lead screw transmission of the main components of the device, and design the structure of the sports box meticulously, which achieves motion control by drawing on difference between elliptical long and short shafts, and properties of half nuts. The

收稿日期: 2019-04-22

基金项目: 浙江省自然科学基金项目(LY14E050016)

通信作者: 徐爱群(1968—),男,浙江省龙游人,教授,博士,主要从事微机电系统研究。E-mail: zdxq@163.com。

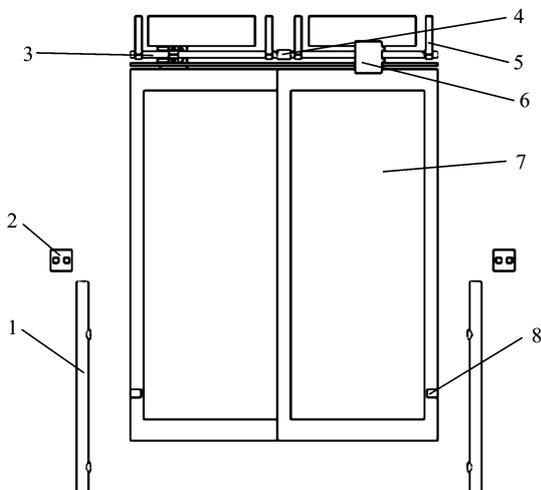
findings can provide reference for designing the anti-child climbing window mechanism.

Keywords: anti-child climbing window; elliptical groove turntable; height detection; automatic opening size adjustment

城市居民住房大多为高层建筑,近十年来,全国各地常有监护人一时疏于照看、儿童找玩具、防盗窗未及时锁上等原因,导致 2~8 岁儿童爬窗坠楼伤亡的事件发生^[1],实为惋惜。3~6 岁是孩子第一次自我意识的觉醒期^[2],在这个阶段他们心里充满了探索的欲望,好动、好奇心特别强,然而对危险的感知能力特别弱,无法判断危险程度,所以也并不能意识到危险^[3-4]。目前市场上专门防儿童爬窗坠楼的装置比较少,类似装置以电动窗户为主,多数为防雨、防烟、防盗等^[5-7]其他智能窗户的附带功能,防儿童坠楼的针对性和功能性不强。有研究者^[8-9]提出高楼层安装防护网和监控设施的方法来防止儿童坠楼,但存在防护网不牢固,监控未及时查看等情况,儿童坠楼的风险依然存在。鉴于此,为防范儿童坠楼恶性事件的发生,我们设计的装置从室内对儿童爬窗行为进行防范,当该装置检测到儿童靠近窗户后自动调节窗户开口大小,以防止儿童翻窗,从而保障他们的生命安全。

1 总体设计方案及工作原理分析

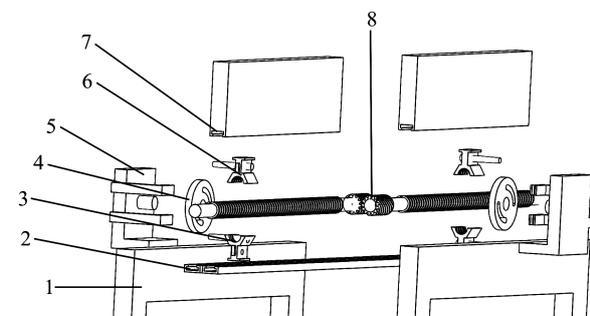
图 1 为防幼儿爬窗跌落装置的示意图,图 2 为丝杠与运动箱结构示意图,其中开合螺母组件包括:开合螺母、T 形滑柱、竖直滑柱、圆柱销(连接销)。图 1 中身高检测装置由 2 根检测杆上的 2 组对射式光电传感器组成,安装在距离窗户正前方 1 m 的位置,分别在两根检测杆的 0.8 m 和 1.3 m 高度各安装一组对射式光电传感器,当身高检测装置检测出身高在 0.8~1.3 m 的儿童靠近窗户时,身高检测杆上的对射式光电传感器获得信号输入,经过逻辑电路和控制器传递至电机处,控制器发出关窗的执行指令,控制系统控制内藏于墙体中的交流电机转动,电机转动带动两条丝杠中的右边丝杠顺时针方向转动,通过一对圆柱斜齿轮使左侧丝杠朝逆时针方向旋转,此时与丝杠啮合的开合螺母带动运动箱作平移运动,运动箱与窗扇刚性连接并随着运动箱做平移运动完成关窗动作。当两边的开合螺母移动到末端,窗扇与窗套内侧接触,触动窗套内侧的限位开关,则限位开关发出 2 个信号,其中一个信号给圆盘内交流电机驱动开槽偏心圆盘转动,使得开合螺母打开,完成行程;另一个信号传递给墙体中的交流电机,使得控制电机停止



1—身高检测装置;2—手动开关;3—丝杠;4—一对圆柱齿轮;5—内藏于墙体的交流电机;6—运动箱;7—窗扇;8—窗套内限位开关。

图 1 防幼儿爬窗跌落装置示意图

Fig. 1 Diagrammatic sketch of anti-child climbing window device system



1—窗扇;2—下 T 形滑槽;3—下开合螺母组件;4—内置电机的开槽圆盘;5—运动箱支架;6—上开合螺母组件;7—上 T 形滑槽;8—一对圆柱齿轮。

图 2 丝杠与运动箱结构示意图

Fig. 2 Diagrammatic sketch of lead screw and sports box structure

转动,丝杠运动停止,关窗动作结束。开合螺母打开后,丝杠的转动不会对窗户和电机造成损害,并且不影响手动开关窗户。手动开关可控制圆盘内交流电机的启动和关闭,以方便窗扇的手动打开和关闭。当螺母与丝杠需要重新啮合时,只需触碰一下窗套内侧的限位开关,使得电机驱动偏心圆盘反向转动,开合螺母闭合与丝杠重新啮合,以备再次检测儿童是否靠近窗户。同时,由于本设计使用的是丝杠与开合螺母传动,若出现窗户卡住等特殊情况,丝杠仍能保持旋转运动,电机正常输出,不会像有些电动窗户那样出现烧坏电机的情况,从而有效地保护了电机的安全。

2 儿童身高检测传感装置设计

2.1 装置的组成

检测传感装置主要由1对身高检测杆、2组对射式光电传感器与相对应的逻辑电路组成,传感器布置如图3所示。以离窗台所在墙面正前方1 m的距离为长,以窗户宽度为宽设置1组对射式光电传感器检测杆机架。由文献[10]知,中国2岁男童的身高约为88.5 cm,2岁女童的身高约为87.2 cm,8岁男童的身高约为130 cm,8岁女童的身高约为128.5 cm。因此,在检测杆上的0.8 m和1.3 m位置安装2组光电管,可以检测到9岁以下儿童靠近窗户的信息。通常光电传感器的响应时间在20~30ms,所以传感器信号能够快速传送至逻辑控制电路中。

光电耦合器件是光电传感器的一种,是由发光元件(如发光二极管)和光电接收元件合并组成,以光作为媒介传递信号的光电器件^[11]。根据其结构和用途不同,它又可分为用于实现电隔离的光电耦合器和用于检测有无物体的光电开关。光电开关是一种利用感光元件对变化的入射光加以接收,并进行光电转换,同时加以某种形式的放大和控制,从而获得控制信号的开关。因此,本研究采用能检测有无物体遮挡的光电开关。在检测杆机架的0.8、1.3 m位置分别装1组光电传感器,用来判别是成人还是儿童靠近窗户。当检测到经过传感器的人身高处于0.8~1.3 m时,控制系统执行关闭窗户的动作;否则窗户开口保持不变。儿童身高检测流程如图4所示。

2.2 逻辑电路设计

控制系统中的逻辑电路采用异或门电路^[12-13],控制逻辑电路如图5所示,A、B分别为0.8、1.3 m处的对射式光电传感器信号输出端。无人经过时输出信号为1,有人挡住对射光线时输出信号为0。当逻辑电路最终输出为高电平1时,内藏于墙的电机驱动丝杠执行关窗动作;当逻辑电路最终输出为低电平0时,不执行任何操作,继续等待信号指令。

3 窗户开口大小自动调节机构设计

窗户开口大小自动调节装置包括动力输出、丝杠传动、运动箱三部分。动力输出部分为交流电机。

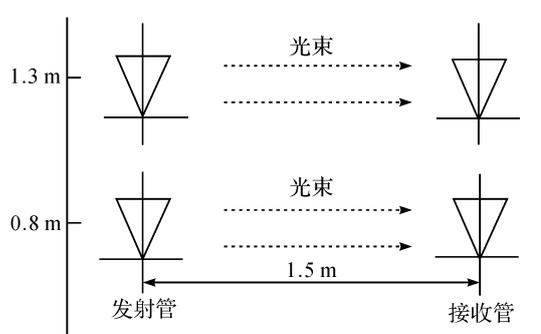


图3 传感器布置示意图

Fig. 3 Sensor layout diagram

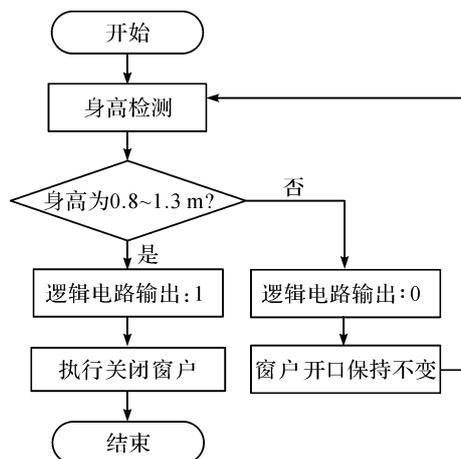


图4 儿童身高检测流程

Fig. 4 Flow chart of children's height measurement

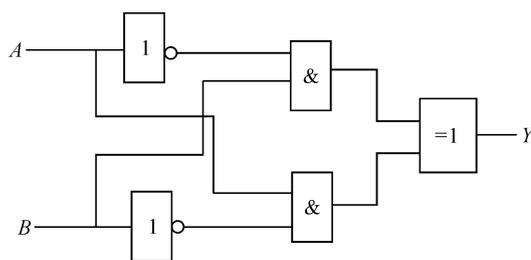


图5 控制逻辑电路图

Fig. 5 Control logic circuit diagram

丝杠传动部分包括 1 对丝杠及位于丝杠头部的 1 对齿轮。运动箱部分由运动箱支架、内置电机的开槽圆盘、连接销、开合螺母及上下开合螺母滑移 T 形槽组成。图 6 为系统结构总体框架。

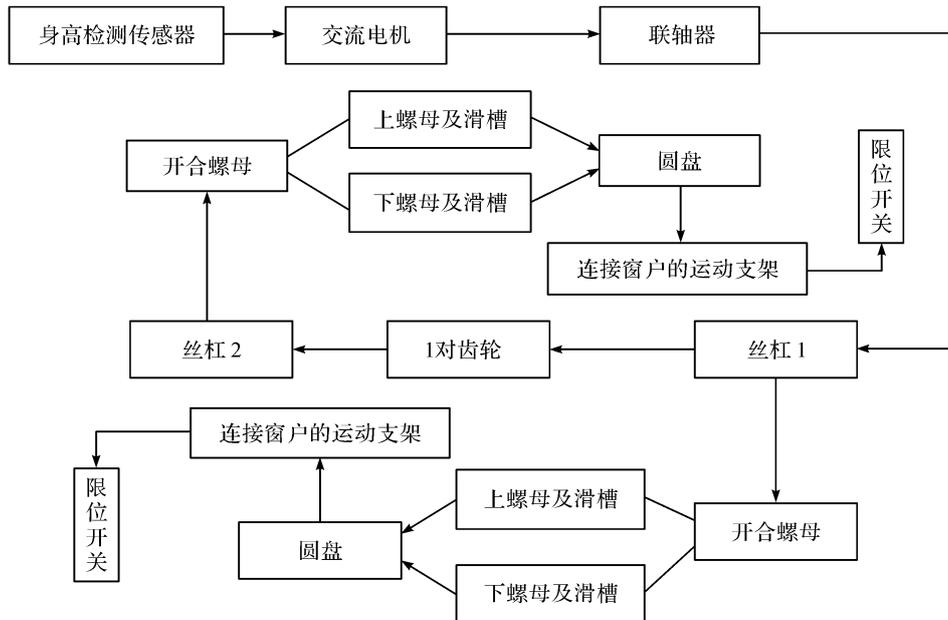


图 6 系统结构框架

Fig. 6 System structure block

3.1 电机的选择

动力输出的交流电机装在窗户顶部右侧的墙内,采用内藏式放置,不影响美观。家用窗户的单扇窗宽度为 700 mm 左右,8 岁小孩走动 10 m 的时间约为 20 s,则走动 1 m 所需平均时间约为 2 s(小于 8 岁的孩子速度更慢),身高检测传感器的响应时间为 20~30 ms。身高检测杆放在距离窗台 1 m 的位置,这就要求运动系统在接收到光电传感器发出控制信号的 2 s 内完成关窗动作,即完成窗扇最大的移动距离 700 mm。选用丝杠的型号为 FFZD3210-3,其基本参数见表 1。

窗扇移动速度

$$v = L/t = 0.7/2 = 0.35(\text{m/s})。 \quad (1)$$

丝杠的转动速度

$$N = v/P_h = 0.35/0.01 = 35(\text{r/s}) = 2100(\text{r/min})。 \quad (2)$$

式(1)~(2)中: L 为窗扇宽度和窗扇移动距离, m ; t 为关窗所需时间, s ; P_h 为丝杠导程, m 。

丝杠副平均工作的载荷

$$F_m = (M_1 + M_2)g = (12.5 + 1.02) \times 9.8 = 132.5(\text{N})。 \quad (3)$$

式(3)中: M_1 为单扇窗户的质量, kg ; M_2 为运动箱的质量, kg ; g 为重力加速度, N/kg 。

丝杠副的计算载荷

$$F_c = K_F K_H K_A F_m = 1.2 \times 1.56 \times 1.1 \times 132.5 \approx 272.84(\text{N})。 \quad (4)$$

式(4)中: K_F 为载荷系数(无冲击平稳运转); K_H 为硬度系数(滚道实际硬度 HRC); K_A 为精度系数。

实际驱动扭矩

$$T_a = (F_a P_h) / (2 \times 3.14 \times \eta_1) = 272.22 \times 0.01 / (2 \times 3.14 \times 0.94) \approx 0.47(\text{N} \cdot \text{m})。 \quad (5)$$

式(5)中: F_a 为轴向负载, N ; η_1 为效率。

表 1 丝杠基本参数

参数	数值
公称直径 D_0	32
导程 P_h	10
丝杠外径 d	32.5
丝杠底径 d_1	27.3

实际功率

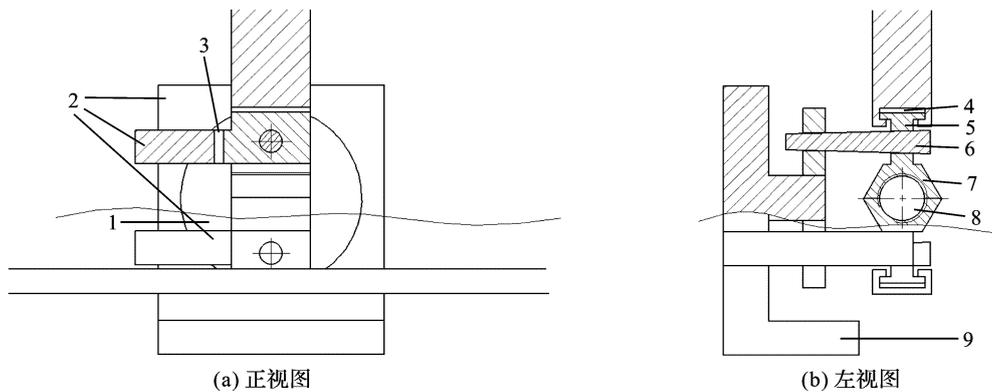
$$P = (T_a N) / 9\ 550 = (0.47 \times 2\ 100) / 9\ 550 \approx 0.11(\text{kW})。 \quad (6)$$

经上述公式计算得出丝杠运转所需的转速约为 2 100 r/min,交流电机所需功率为 0.11 kW,考虑到运行中可能出现不良过载情况,会超过正常实际运转所需功率,所以选择额定功率为 0.12 kW,额定转速为 2 150 r/min,型号为 57BYG250FA 的交流电机。

3.2 运动箱设计

3.2.1 运动箱工作原理

运动箱部分是本装置设计的核心,它刚性连接在窗扇上。当丝杠旋转运动时,与丝杠啮合的螺母可以在丝杠轴向做水平直线运动并且拉动窗户移动。图 7 为运动箱结构装配图。

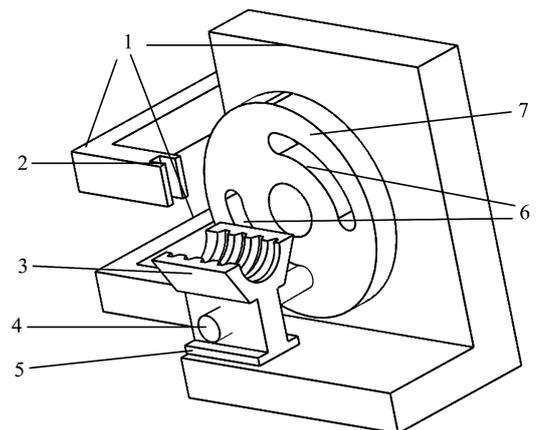


1—圆盘;2—运动箱支架;3—上滑柱(开合螺母打开时的导轨);4—上 T 形滑槽;5—上 T 形滑柱;6—上圆柱销;7—上开合螺母;8—丝杠;9—窗扇连接部分。

图 7 运动箱结构装配图

Fig. 7 Structural assembly diagram of sports box

图 8 为运动箱内部结构图。内置交流电机的圆盘中心开有孔,圆盘通过轴承安装在运动支架上可以绕圆心旋转。圆盘上还开有两道精心设计的滑槽,圆柱销一端正好能嵌入滑槽内,圆柱销另一端嵌入开合螺母上的圆孔内。连接销保持圆盘与开合螺母的刚性连接,在运动箱整体运动时与开合螺母保持相同的运动状态。滑槽沿圆盘中心对称,其起始位置距圆心较近,其底部距圆心较远,从圆盘滑槽一端到另一端,与圆心的距离依次增大或减小,滑槽分别占圆盘 90° 圆心角。当圆盘内电机接收到运转信号时,圆盘旋转,两根连接销在滑槽位置进行相对运动,使连接销间距改变,从而起到分离与闭合开合螺母的作用。当圆盘逆时针旋转 90°,即开合螺母做分离动作时,两根连接销间距最大,开合螺母被分开;当圆盘顺时针旋转 90°,即开合螺母做闭合动作时,两根连接销间距最小,开合螺母被闭合。



1—运动箱支架;2—竖直滑柱;3—下开合螺母;4—圆柱销(连接销);5—下 T 形滑柱;6—圆盘内滑槽;7—内置电机的圆盘。

图 8 运动箱内部结构图

Fig. 8 Internal structure diagram of sports box

运动箱通过圆盘的设计控制开合螺母的打开和闭合。运动箱中运动箱支架与窗户刚性连接,开合螺母内螺纹与丝杠外螺纹啮合,开合螺母上下部分均设计有 T 形滑柱,可以分别在开合螺母上下滑槽内水平运动。而开合螺母上下滑槽在竖直方向的深度有预留量,在开合螺母分离的过程中,T 形滑柱能带动开合螺母在 T 形滑槽的竖直方向上运动。开合螺母分离的极限位置即 T 形滑柱到达 T 形滑槽的底部。

3.2.2 圆盘的设计

图 9 为圆盘及其内开滑槽轮廓,连接销为圆柱销,滑槽的宽度正好容纳圆柱销插入并在圆盘内交流电机的带动下滑动到滑槽的另一端。在设计前期,我们综合比较过滑槽弧形、开合螺母打开的驱动力安装位置,均存在一些运动阻碍或磨损较大的情况,因此最终选择将圆盘内滑槽设计成椭圆弧。图 9 中虚线表示的是圆柱销在圆盘滑槽内中心线的运动轨迹,两段圆柱销在圆盘滑槽内中心线的运动轨迹的 4 个端点分别为 $(0, 50)$ 、 $(0, -50)$ 、 $(70, 0)$ 、 $(-70, 0)$,一根圆柱销每次运动 90° 的角度,将此轨迹设计成椭圆弧,得到轨迹方程

$$\frac{x^2}{49} + \frac{y^2}{25} = 1 (x \geq 0, y \geq 0 \text{ 或 } x \leq 0, y \leq 0)。$$

当两根圆柱销分别位于图 9 所示 y 轴上下位置时,开合螺母处于闭合状态,与丝杠啮合;当两根圆柱销分别位于 x 轴位置时,开合螺母处于打开状态,与丝杠分离。

开合螺母用于防幼儿爬窗坠楼装置的传动装置中,一方面是为了利用开合螺母闭合时使螺母能够实现与丝杠的啮合,完成传动功能;另一方面是为了利用开合螺母打开时分为两半,能够与丝杠脱开,结束传动功能,从而实现传动过程的控制。运动箱圆盘的设计辅助开合螺母将其功能自动化实现,椭圆弧从可靠的机械设计中巧妙地实现了开合螺母的打开、闭合。

由表 1 可知丝杠外径与底径只差 5.2 mm,再由图 9 可知椭圆弧的长短轴之差为 20 mm,因此当开合螺母松开后,能使开合螺母与丝杆完全脱开。圆盘内滑槽结构的设计利用椭圆长轴、短轴之差的特性,实现了开合螺母的打开和闭合,使得该设计独特且运行可靠。

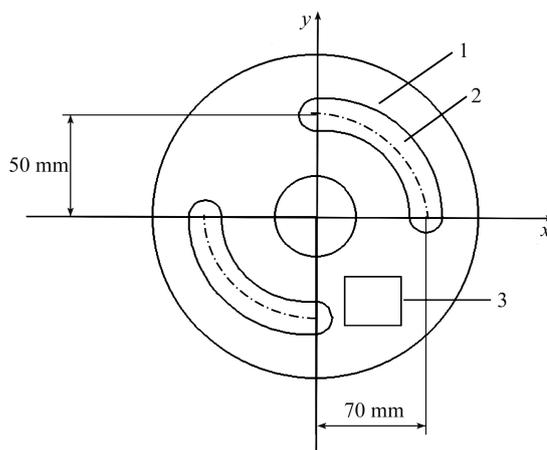
3.3 限位开关和手动开关

限位开关安装在窗户内侧窗框上,它由 2 块圆形铁片、连接铁片的导线和弹簧及圆形软管组成^[14]。导线和弹簧的两端各连接一块圆形铁片,在弹簧和导线的外面套有圆形软管(绝缘体),弹簧的长度为 10 mm。当窗户完全关闭时,受弹簧作用,两块铁片不接触,不导电;当窗扇移动到完全闭合的位置时,弹簧被压缩,两块铁片相互接触,产生电流,限位开关被触发,控制运动箱圆盘内的电机运转,电机驱动圆盘逆时针旋转 90° ,连接销从圆盘滑槽距圆心最短端移动到距圆心最长的另一端,从而带动位于丝杠正上方和正下方的两个半开合螺母与丝杠分离,窗扇停止移动。同时,限位开关还具有控制交流电机的作用,当窗扇移动至完全闭合处,限位开关被触发,交流电机电路断开,交流电机停止运转,丝杠旋转运动结束。

手动开关安装在窗边墙体部分,有打开与闭合 2 个按键。分别控制圆盘内置交流电机的正反转动,起到人为控制开合螺母分离与闭合的作用。

4 结 论

为防止儿童爬上窗户坠楼事件的发生,我们针对目前居民楼窗户的现状,设计了防幼儿跌落的窗户开口自动调节装置。即对普通智能窗户,设计了由身高检测装置、开合螺母丝杠传动和圆盘运动箱连接的自动窗户开度调节装置。当儿童靠近窗户时装置能自动完成关窗动作,更大程度地防范了儿童因各种原因爬窗坠楼造成伤亡的事件发生。此装置的优势在于:1)对射式光电传感器、交流电机、丝杠与开合螺母均为成熟产品,运动箱结构简单易制作,因此,本调节装置经济成本低,普通工薪家庭均可安装使用。2)丝杠与开合螺母啮合传动,把电机输出的旋转运动变成螺母带动窗扇的平移运动,两根丝杠的接头处



1—圆盘;2—圆盘内滑槽;3—圆盘背面安装的电机。

图 9 圆盘及其内开滑槽轮廓

Fig. 9 Contours of disk and its internal open-sliding groove