

# 8米多用途天文园顶的结构设计

李 挺

(南京天文仪器厂)

刘德琳 韩峰

(北京天文台)

## 前 言

天文园顶<sup>[1]</sup>是一种球形特殊结构,用来保护天文望远镜不受风雨的侵蚀,为了让天体的光线进入望远镜,园顶上必须有可以开启和关闭的天窗,它有左右开启和上下开启两种型式,使半球形园顶上敞开一个大于 $90^\circ$ 的开口,其宽度与望远镜口径相比要足够地大。由于天体有周日运动,园顶还要能作方位转动,俾使天窗开孔始终对住所观测的天体。当然,不能漏雨和防止被巨风掀起也是必定要考虑到的。为减小热辐射传导,园顶表面都染成银白色。每个天文台都有若干个大小不等的天文园顶,在阳光照射下,银光闪闪,成为天文台的象征。

最近,南京天文仪器厂和北京天文台等单位合作研制成功一台具有先进水平的太阳磁场望远镜。为使望远镜更好地规测太阳表面的微细现象,从望远镜到建筑物的设计都采取了许多措施,以尽可能减小热空气湍流对太阳成像质量的不利影响,从建筑方面考虑,主要措施是:①将望远镜安置在怀柔水库内的小半岛上,其前方为广阔的水域包围,白天上方空气特别稳定。②望远镜座落在高25米的塔形建筑物顶部,以避免近地面的湍动热气流影响。

现代太阳规测仪器要求在工作时望远镜前方不存在像园顶那般的能导致附近空气变热的建筑物,有的将望远镜设计得可暴露在大气之中<sup>(2)</sup>,也有设计成可敞开的屋顶结构<sup>(3)</sup>。在我们的情况下,由于怀柔水库是北京的风景区,要求望远镜用外规美丽的园顶以保留天文台的象征,成为水库中一个具有特色的建筑物。因此,对园顶设计提出两个基本要求:①它应当可在规测时移向北面一定距离处,使望远镜处于无园顶的敞开状况。②园顶外形应当是一个超半球,具有优美的外规。

从以上基本要求出发,建筑物被设计成一个具有向北悬伸梁的八层塔式结构。

园顶本身被设计成一个 $240^\circ$ 超半球壳形结构,壳体骨架为钢结构,内外表面覆以泡沫塑料板和表面薄层玻璃钢。园顶内顶部还安装了一台电动葫芦,用来将处于底塔地面上的望远镜部件提升到塔顶上。

目前,园顶已装配完毕,成为北京天文台怀柔太阳观测站的一个组成部份<sup>[4]·[5]</sup>。本文将段述此园顶的结构设计,包括钢结构,传动,附属设施,电控等设计。

## 一、园顶结构的概述

本园顶由于兼有转动和移出两种运动,结构较复杂,它主要由以下部件组成:

1. 转动底盘:是支承园顶球壳的基础,外径6.9米,内径2.8米,外缘装有8个滚轮,

内缘装有4个滚轮，分别支承在固定于水泥基础上的两个同心圆周钢轨上，可作旋转运动，定中心是借助于紧靠在外轨道侧面上的8个侧滚轮实现的。底盘，亦即整个园顶的转动是外缘三个最承重的滚轮作为主动轮直接电动的。

2. **园球钢架**：由240°超半球（外径8米，内径7.4米）连接一段长1.1米的园柱部分（外径7米，内径6.4米）构成。天窗净宽1.8米，从顶部一直敞开到底，没有任何结构连接园球钢架藉其底部四个滚轮支承在固定于转动底盘上的两根平行钢轨上。塔楼顶部有一北向悬臂梁，其上有两根固定的平行钢轨，当底盘转动到内外钢轨对齐时，处于北面的两个主动轮可电驱动，使园顶移开直到北端。

3. **天窗**：为120°柱面壳形结构，两侧各有7个滚轮，卡在由槽钢弯成的轨道内，能够转动并兼有防风保险作用。天窗内园柱面两侧装有铝合金内齿圈，电动装置通过与它们啮合的一对小齿轮带动天窗作俯仰开启和关闭运动。

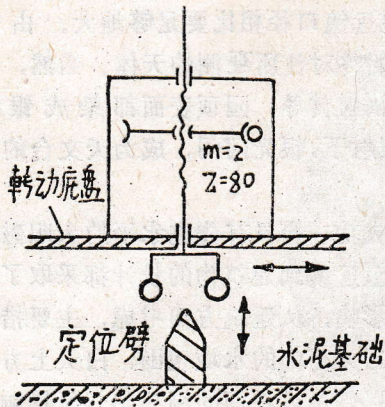


图1 定位装置略图

4. **驱动装置**：包括底盘转动，球壳平移和天窗启闭三套驱动。前两套为直接驱动主动轮，后者通过齿轮付带动天窗运动。

5. **定位装置**：为防止出现内外直轨道未对准就启动园顶平移，导致球壳出轨的事故，在转动底盘上安置了一套定位装置，结构示意图如图1，它的可伸缩定位杆前端装有两个并排的滚珠轴承，当园顶转到对准位置附近时，电驱动使定位杆向下插入固定在水泥基础上的定位劈块，底盘的驱动采用可逆向传动的摆线针轮减速器，在底盘被拨动到严格对准位置过程中，滚轮是转动的，所需驱动力较小。定位杆到极限位置时，触动行程

开关，切断自身的驱动，同时接通平移驱动的电路。

6. **馈电装置**。园顶所用的所有电器都是随底盘转动的。平移和天窗驱动还随园顶球壳移动，为此，设计了三套滑动接触式馈电装置引入三相电源和控制电信号。

7. **保险装置**。为防止处于25米高空的园顶被风掀动，设计了四套保险机构：转动底盘外像焊了十六根突出的方钢，突伸部份位于保护圈的空档内，保护圈由槽钢变成园周，直径略大于转盘外径，与塔顶水泥结构内的钢筋焊接成一体。园球壳体在平移就位后，可用四套大螺杆付紧固在转动底盘上，因此，在风荷作用下，园顶只可能有小量的摆动，不致有倾覆的危险。

8. **附属设备**。底盘上安置有起升高度为6米的液压升降台，可供观测和天窗驱动维修使用。升降台通过其底部的四个滚轮承在两根导轨上，藉电驱动可在转动底盘上作径向运动。园顶钢架上焊有一根工字梁，其上装有一台提升高度24米的电动葫芦，于是，园顶兼起行车作用，可将地面上的2吨以内的部件提升到塔顶，然后移入转动底盘上方。在安装望远镜时，就是利用它实现望远镜各部件的起吊和安装的。

综上所述，本园顶具有转动、开天窗，平移、行车及观测者用升降台等五种动能，称为多用途天文园顶是符合实际情况的。目前，还未见到国内外有类似的天文园顶结构。

## 二、园顶钢架的刚度计算

图2乃是园顶钢架的俯视图，1和21是天窗拱梁，6，11，16，22是主梁，它们均由四根 $40 \times 40 \times 5$ 角钢组成，其余是辅梁，由两根角钢组成。A、B、C、D表示四个平移滚轮的投影位置，经过这四个点的是钢架的底圈。行车工字梁是焊接在主梁6和16上的。园顶钢架是一个空间结构，严格计算比较复杂，向对于单件生产，材料消耗不是主要考虑的问题，重要的是有较高的安全系数，因此，就若干个重要环节，将构件隔离出来进行刚度计算：

①天窗开口处，即是点E和F处的M向和N向的刚度。图3给出天窗拱梁结构示意图，它由园弧

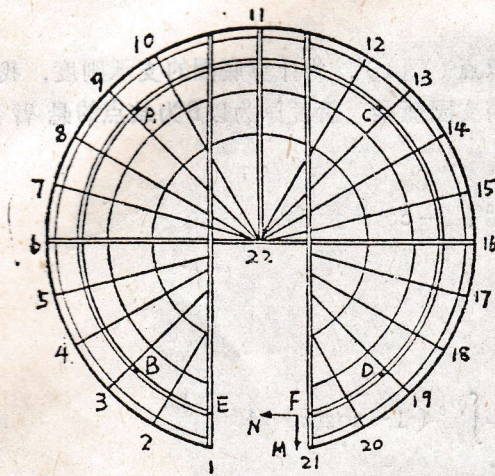


图2 园顶钢架俯视图

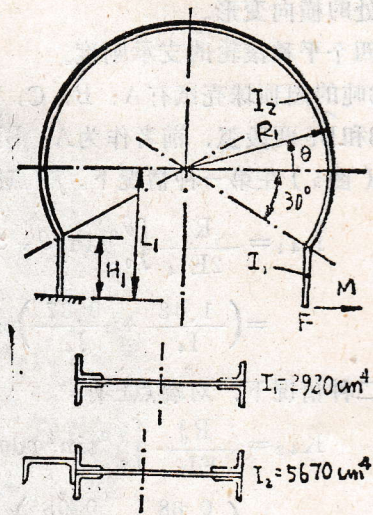


图3 天窗拱梁示意图

和直线两部分组成，前者由四根角钢和一根槽钢拼接而成，截面模量 $I_2 = 5.67 \cdot 10^3 \text{cm}^4$ ，后者由四根角钢组成，截面模量 $I_1 = 2.92 \cdot 10^3 \text{cm}^4$ 。 $H_1 = 106.3$ ， $R_1 = 381.3$ ， $L_1 = 297$ 。用虚位移法<sup>[8]</sup>可求出拱梁在F点在M方向上的刚度：

$$K_{11} = \frac{1}{EI_1} \int_0^H y^2 dy + \frac{1}{EI_2} \int_{-\pi/6}^{+\pi/6} R(L + R \sin \theta)^2 d\theta + \frac{1}{EI_1} \int_H^0 H^2 dy$$

$$= \frac{1}{EI_2} \left( \frac{4}{3} \pi L^2 R + 2\sqrt{3} LR^2 + \frac{2}{3} \pi R^3 \right) - \frac{2H^3}{3EI_1} = 3.56 \cdot 10^{-2} \text{cm/kg}$$

为求F点在M方向的刚度，还必须计算入底圈的刚度，底圈（图4）由两根 $50 \times 50 \times 5$ 角钢拼成，其截面模量 $I_3 = 1.794 \cdot 10^3 \text{cm}^4$ ，此外， $\theta_1 = 74^\circ.42 = 0.413\pi$ ， $H_2 = 90$ ， $R_2 = 335$ ， $L_2 = 3.227$ 。M方向的单位力引起的同方向位移，于是：

$$K_{21} = \int_{-0.413\pi}^{1.413\pi} \frac{(R_2 \cos \theta - H_2)^2 \cdot R_2}{EH_3} d\theta$$

$$= 4.89 \cdot 10^{-2} \text{cm/kg}$$

于是，M方向的刚度：

$$K_1 = \frac{K_1 \times K_{21}}{K_{11} + K_{21}} = 2.06 \cdot 10^{-2} \text{ cm/kg}$$

M方向的单位力还会产生N方向的位移，于是：

$$K_{22} = \frac{1}{EI_3} \int_{-0.413\pi}^{1.413\pi} (R_2 \cos\theta - H_2)(L_2 + R_2 \sin\theta) R_2 d\theta = -1.71 \cdot 10^{-2} \text{ cm/kg}$$

N方向的单位力导致N方向位移，即F点的横向刚度：

$$K_3 = \frac{1}{EI_3} \int_{-0.413\pi}^{0.413\pi} R_2 (L_2 + R_2 \sin\theta)^2 d\theta = 9.13 \cdot 10^{-2} \text{ cm/kg}$$

比较 $K_1$ 、 $K_{22}$ 、 $K_3$ 可见，横向刚度远小于纵向刚度，在B、D两个滚轮中，D轮有轮缘卡住轨道两侧，而B轮没有轮缘，因此，需加一对安装在底圈下部靠近B轮处的侧轮来约束钢架开口处的横向变形。

### ②、四个平移滚轮的支承刚度。

重6吨的园顶球壳纸有A、B、C、D四个支承点(图2)，为计算底圈的支承刚度，我们考虑AB和BE两段弧，前者作为A、B两点间的简支园弧梁，后者作为以B为结点的悬臂梁来考虑(图5)在第一种情况下，中点的刚度：

$$K_{41} = \frac{R_3^3}{2EI_4} \int_0^{\theta_0} \sin^2\theta + \frac{R_3^3}{2GJ_4} \int_0^{\theta_0} (1 - \cos\theta)^2 d\theta$$

$$= \left( \frac{1.48}{I_4} + \frac{0.37}{J_4} \right) \text{ cm/kg}$$

在第二种情况下，对端点E有：

$$K_{42} = \frac{R_3^3}{EI_4} \int_0^{\psi_0} \sin^2\varphi d\varphi + \frac{R_3^3}{GJ_4} \int_0^{\varphi_0} (1 - \cos\varphi)^2 d\varphi$$

$$= \left( \frac{0.68}{I_4} + \frac{0.08}{J_4} \right) \text{ cm/kg}$$

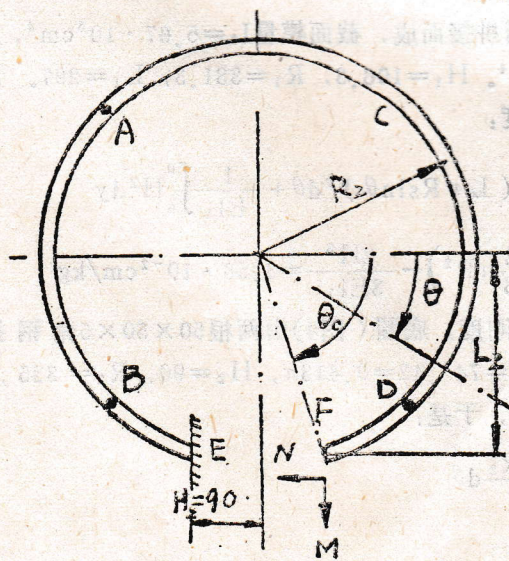


图4 底圈的计算刚度

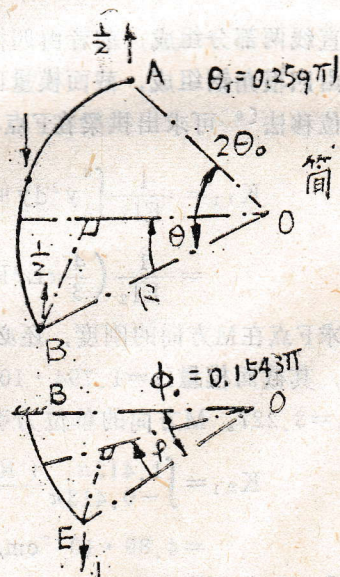


图5 底圈的支承刚度

式中 $J_4$ 是表徵剪切变形的极惯矩，通常大于惯性矩 $I_4$ ，由此可见，弯曲变形占主要地位。在原设计中，底圈由两根并排的 $50 \times 50 \times 5$ 角钢拼成， $I_4$ 基本上是两根角钢惯性矩之和： $I_4 = 22.42 \text{cm}^4$ ，于是： $K_{41} = 3.26 \cdot 10^{-2} \text{cm/kg}$ ， $K_{42} = 3.3 \cdot 10^{-2} \text{cm/kg}$ 。可见刚度是相当差的，但若钢架内外有固连在一起的覆盖层（玻璃钢或薄钢板）形成一个连续的薄壳结构，则支承刚度将大大增强，但由于具体施工情况与设计意图不尽相同，在覆盖表面层之前，对钢架下部作了加固：即在圆柱部分焊以内外两圈厚 $2 \text{mm}$ 的钢板，高度分别为 $103.4$ 和 $111.3$ 厘米，于是，刚度纸少提高近 $2000$ 倍，即在 $AB$ 弧中加 $1$ 吨负荷，变形仅 $0.05 \text{mm}$ ，刚度大为增强，而重量仅增加 $500 \text{kg}$ 。

③承重 $2$ 吨时的钢架变形。这一问题的严格计算因涉及空间构架而变得比较复杂，现进行不失一般性的简化计算（图6）：将图6中的 $6, 22, 16$ 主梁当作一根考虑，在工字梁的两端点 $A, B$ 上同时承重 $1000 \text{kg}$ ，不计入行车梁及其它钢架梁的支承刚度。由于底部刚度相当好，可认为两个支承点 $C$ 和 $D$ 都是固接的。这是一个超静定结构。应先计算一个固定端 $D$ 的反力和反力矩。由结构对称性不难看出，反力的垂直分量为 $P$ （ $=1000 \text{kg}$ ），水平分量为

$P \tan 30^\circ = \frac{P}{\sqrt{3}}$ ，未知量便剩下 $M$ 。利用端点转角等于 $0$ 的约束，便可得到包含 $M$ 的一次方程：

$$EI\theta = \int_{-\pi/6}^{7/6\pi} \left[ -M + \frac{\sqrt{3}}{2} PR - PR \cos \theta + \frac{\sqrt{3}}{6} PR + \frac{\sqrt{3}}{3} PR \sin \theta \right] d\theta$$

$$+ \int_{\theta_0}^{7/6\pi} PR (\cos \theta - \cos \theta_0) d\theta + \int_{\pi - \theta_0}^{7/6\pi} PR (\cos \theta_0 - \cos \theta) d\theta = 0$$

取 $R = 385$ ， $\theta_0 = 0.284\pi$ ，代入上式可得到

$$M = 0.58PR = 2.233 \cdot 10^5 \text{kg} \cdot \text{cm}$$

梁内最大应力  $\sigma_{\max} = \frac{M \cdot y_0}{I}$ 。已知 $I = 2.92 \cdot 10^3 \text{cm}^4$ ， $y_0 = 15 \text{cm}$ ，于是， $\sigma_{\max} = 1147 \text{kg/cm}^2$ 。在钢的弹性极限之内。

至于钢架变形，可计算两个典型位置 $E$ 和 $F$ 处的变形 $\delta_1$ 和 $\delta_2$ ，仍使用虚位移法可得：

$$\frac{EI}{PR^3} \delta_1 = \int_0^{7/6\pi} \pi \left[ -M + \frac{\sqrt{3}}{2} PR \cos \theta + \frac{\sqrt{3}}{6} PR + \frac{\sqrt{3}}{3} PR \sin \theta \right] \sin \theta d\theta$$

$$+ \int_{\theta_0}^{7/6\pi} (\cos \theta - \cos \theta_0) \cdot \sin \theta d\theta + \int_{\pi - \theta_0}^{7/6\pi} (\cos \theta_0 - \cos \theta) \sin \theta d\theta$$

$$\frac{EI}{PR^3} \delta_2 = \int_{\pi/2}^{7/6\pi} \left[ -M + \frac{\sqrt{3}}{2} PR \cos \theta + \frac{\sqrt{3}}{6} PR + \frac{\sqrt{3}}{3} PR \sin \theta \right] \cos \theta d\theta$$

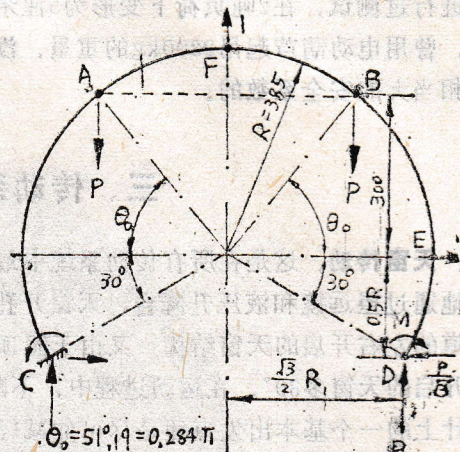


图6 行车梁的刚架计算

$$+ \int_{\pi/2}^{7/6\pi} (\cos\theta - \cos\theta_0) \cdot \cos\theta d\theta + \int_{\pi-\theta_0}^{7/6\pi} (\cos\theta_0 - \cos\theta) \cos\theta d\theta$$

求出积分，并代入已知数据，可得

$$\delta_1 = 1.183 \frac{PR^5}{EI} = 11.6\text{cm}, \quad \delta_2 = -2.108 \frac{PR^3}{EI} = 20.7\text{cm}.$$

由于未计入钢架其它构件对支承刚度的贡献，这样计算的数值肯定是偏大的，钢架总装结束后进行过测试，在2吨负荷下变形为5厘米左右，表明上述计算是可靠的。在起吊望远镜部件前，曾用电动葫芦起吊2300kg的重量，没有任何异常现象，因此，园顶对于望远镜的安装是有相当大的安全系数的。

### 三、传动系统的设计和计算

**1. 天窗传动。**这是所有传动系统中最需认真对待的问题。为使园顶在移开过程中不受阻碍地通过望远镜和液压升降台，天窗开孔下部没有任何结构连接，因此，不能采用必须有下轨道的左右开启的天窗结构。又由于园顶是240°超半球形，天窗必须有120°弧度，比一般上下开启的天窗多30°，在运动过程中，不断变化的载荷不平衡问题就更为严重，因此，结构设计上的一个基本出发点便是尽可能减轻运动部份的重量，以减小冲击。为此，采取了以下措施：①天窗为桁架结构，由小型角钢（30×30×4）组合而成，只保证两侧构架的径向刚度，扭转刚度较差，对天窗轨道的装配精度可适当降低，表面用薄的玻璃钢覆盖。②两根大尺寸（R=3.96米）的传动内齿圈的材料采用铸造铝合金ZL-103，经过淬火处理，适于承受较重负荷。比用铸铁，重量减轻140kg。天窗的总设计重量在500kg以内。

#### 2. 天窗传动的设计和计算。

图7给出传动系统展开，第一级采用传动噪声低的三角皮带，目的是当限位开关失灵，

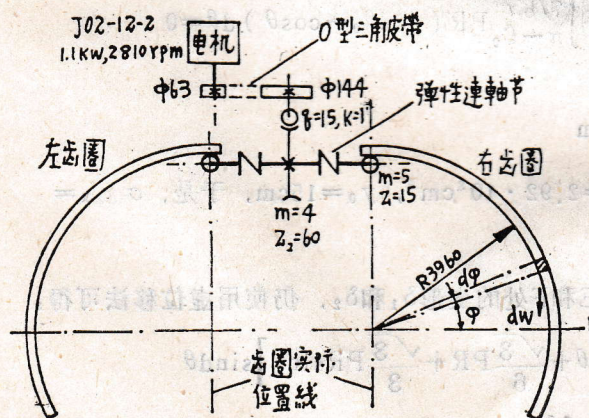


图7 天窗传动展开图（齿圈位置回转90°）

天窗到达极限位置时，皮带能打滑，起保护作用。第2级的减速蜗杆具有较大的q值（λ=3°48'），具有可靠的自锁性能，有利于天窗平稳向下运动。蜗轮轴与小齿轮轴之间的连杆通过橡胶弹性联轴节连接，允许诸轴间有小量的偏移。开启120°角耗时103秒。对天窗传动进行了下述计算：

①传动力矩：设天窗重量在其园弧上均匀分布，单位弧长上的重量为ρ，取dφ角弧段，其自重力矩dM<sub>1</sub>=R<sup>2</sup>·ρ·cosdφ，天窗运动系滚动，摩擦系数甚小，但考虑到锈蚀、变形等因数，取摩擦系数为0.1，

则阻力矩dM<sub>2</sub>=0.1R<sup>2</sup>·ρ·sinφdφ，由-30°到+90°积分，便得到传动力矩：

$$M_0 = \int_{-30^\circ}^{90^\circ} (\cos\varphi + 0.1\sin\varphi) \cdot d\varphi \cdot R^2 \rho = 1.587R^2 \rho$$

天窗总重  $W = \frac{120}{180} \pi R \cdot \rho$ , 代入上式得  $M_0 = 0.758WR$ , 取  $W = 500\text{kg}$ ,  $R = 3.96$  米, 得  $M_0 = 14703$  牛顿·米。

② 传动功率:  $M_0$  折算到蜗轮轴上, 计入齿轮传动效率 0.9, 得减速箱输出转矩应大于

$$M_{112} = M_0 \cdot \frac{37.5}{3960} \cdot \frac{1}{0.9} = 154.7 \text{ 牛·米}$$

蜗杆付的摩擦系数取 0.08, 摩擦角  $\rho = \text{tg}^{-1} 0.08 = 4^\circ.57$ , 传动效率  $\eta_1 = \frac{\text{tg} \lambda}{\text{tg}(\lambda + \rho)} = 0.452$ 。

三角皮带效率取  $\eta_2 = 0.96$ , 电机转速 2810 转/分, 要求驱动电机的功率为:

$$W = \frac{63 \cdot 154.7}{144 \cdot 60 \cdot 0.452 \cdot 0.96} \cdot \frac{2810}{60} 2\pi = 765 \text{ 瓦}$$

选用 1.1 千瓦电机具有足够的功率。

③ 蜗轮强度校核: 就接触强度和弯曲强度进行计算, 采用一般机械零件教科书中的公式<sup>[7]</sup>。蜗轮材料为磷青铜, 蜗杆为 45 号钢, 齿面淬火后磨削, 再考虑到运转情况较稳定, 每天仅开启一次, 工作时间不到 3 分钟等因素, 计算结果 (过程从略) 是按接触强度的安全系数  $\eta_H = 5.7$ , 按弯曲强度的安全系数  $\eta_F = 8.85$ , 均远大于 1, 可以认为蜗轮付具有足够的强度。

④ 合金铝内齿圈的强度校核: 天窗传动是开式的, 磨损较闭式严重, 几乎不会发生由接触应力产生的疲坑, 因此, 决定其传动尺寸的是按弯曲强度计算的结果<sup>[8]</sup>, 只是在计算公式中引入磨损系数, 一般取为 1.25~1.5。我们在计算中取 1.5。按相应的公式得到齿根的弯曲应力 (过程从略):

$$\sigma_b = 8.1 \text{ MPa}$$

关键问题是在于齿圈材料的许用应力之确定。我们为了减轻运动部分的重量, 采用一般动力机械传动中极少使用的铝合金, 查不到许用应力数值, 客观条件限制不允许做这方面的试验, 我们只好同强度最差的灰铸铁对比, 对于 HT10—26, 抗弯强度限  $\sigma_b = 26 \text{ kg/mm}^2$ , 许用弯曲应力  $[\sigma]_b = 40 \text{ MPa}$ , 而对于 ZL103 (经淬火  $T_5$  处理),  $\sigma_b = 22 \text{ kg/mm}^2$ <sup>[9]</sup>, 可认为它的许用弯曲应力为 30 MPa 左右, 还是远大于计算的  $\sigma_b$  值。在安装之后的近 100 次运转表明, 钢齿轮—合金铝齿圈付的传动本身是相当平稳的, 未发现啮合面上有异常情况出现。

### 3. 平移驱动

图 8 给出平移驱动系统图, 其第一级也是三角皮带驱动, 通过蜗杆付减速, 及一对汽车用万向轴带动主动轮, 平移速度  $v = 6$  米/分。由于铸铁轮在钢轨上的滚动摩擦阻力很小, 电机功率和蜗轮强度都是绰绰有余的。计算从略。

### 4. 转动驱动

转动底盘上的三个负荷最大的轮子作主动轮, 它们各自通过橡胶弹性联轴带, 直接由摆线针轮减速器 (驱动电机 0.55 千瓦) 转动。采用三个主动轮 (大致在园周上均匀分布) 之目

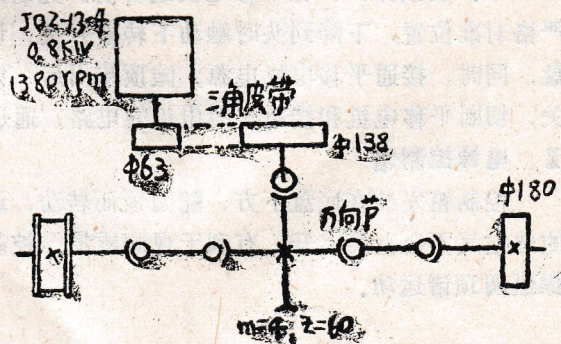


图8 平移传动系统

的是构成以园心为中心的力偶矩，以减小定位侧压轮上的作用力。此外，由于结构变形，作用在诸滚轮上的压力会或大或小，用一个主动轮，当园顶移出后，有可能在某位置上出现摩擦力不足而导致打滑现象。至于驱动功率，显然是相当宽裕的。园顶每转一周的时间为135秒钟。

## 四、电气控制

为保证园顶可靠地转动和平移的功能，电气设计上采取了一些措施，如下所述：

### I. 馈电装置

1. 三相电之引入：水泥基础上固定有四圈彼此绝缘的镀锌园钢，用作三相电源线和接地线，转动底盘下有四组铜刷，每组有两只并联地压合在输电园钢上滑动，保证了接触的高度可靠。园顶所有电器都是随它转动的。

2. 平移和天窗电机之馈：电转动底盘上两根平移轨道两端的腹板上共装有四组导电铜排，通过装在园顶钢架下部的碳刷分别馈电给平移和天窗电机。供电给平移电机的碳刷有内外两套，当园顶平移一点距离后，外碳刷便通悬臂梁上固定钢轨腹板上的通电铜排相接触，使平移电机得以接续地供电。同时，天窗碳刷脱开，使电机电路断开，使在园顶平移过程中天窗保持开启状态。为保证用电安全，碳刷一铜排接触传输的电压降压到36伏，在馈入相应电机前又经过升压变压器恢复到380伏。实际上，由于电源电压不稳及电路损耗，接触传输电压实际上略高于36伏。

### II. 保险装置

电控设计的一个重要考虑是保证：只有当内外平移轨道严格对准时才有可能平移电机，从根本上避免在内外钢轨未严格对准时便起动园顶平移，而出现园顶出轨这一恶性事故的可能性。为此，采用以下两个措施：

1. 定位馈电：转动底盘下有一组碳刷，当底盘转到对准位置时，才与水泥基础上的一组铜排接触，从而接通平移电机的电源。

2. 联锁保护：在平移电机起动前，先是定位电机启动，定位劈杆下降，将底盘拨动到严格对准位置，下降到头时触动下转换开关，切断定位电机和底盘转动电机，锁定转动底盘，同时，接通平移电机电源。园顶移出后，使定位装置复位，定位杆收回，触动上转换开关，切断平移电机和接通转动电机的电路。通过上述电路联锁，便防止了任何误动作出现。

### III. 电源控制箱

控制箱安装在底盘下方，随园顶而转动，这样做可节省园顶空空间，电控设备发热引起的热空气不会直接上升，有利于观测质量。控制箱上还接出控制手把，供观测者在园顶室内操纵园顶诸运动。

## 五、其它

园顶室内的电动葫芦和液压升降机都是定购的成品。只是对液压升降台的底部略加修改，加上一套平移驱动装置，也是用摆线针轮减速器和三角皮带轮，将电机转动减速传给一



对主动轮，使液压升降台在底盘的径向轨道上移动。所有园顶电动都有开关限位，运动到位后若开关失灵，三角皮带轮便打滑，起安全保护作用。园顶钢架上，在天窗两侧各焊一组扶梯，供天窗的安装和维修之用，顶上还装有避雷针，园顶已在1984年10月完成全部装配和外表覆盖，目前已投入正常使用。由于天窗轨道结构焊接较粗糙，天窗运动时，在某些位置上有较大的声响，但铝合金齿圈表面看不出磨损现象，估计可有较长的使用寿命。平移用的导轨铜排安装也较粗糙，致使碳刷磨损较严重，拟改用铜刷。此外，定位电机上还要加上过载保护，以免在限位开关失灵情况下保护定位机械装置的安全。总之，本园顶的设计制造基本上是很成功的，为今后类似结构的设计提供了宝贵的经验。

\*

\*

\*

本园顶的设计要求是北京天文台艾国祥和胡岳风提出的，他们和北京天文台太阳磁场望远镜题目组参与园顶总装，对结构提出有益的改进意见，尤其是在园顶外表覆盖玻璃钢过程中，付出了令人赞叹的艰苦劳动。园顶结构是由北京冶金机械厂承担施工和安装的。北京天文台金工厂也参与部分总装工作。园顶表面覆盖是由一机部第九设计院张洪齐等承担。此外，北京天文台毛同生和唐思程，青岛市机械研究室李慎诚等对园顶设计提供了有价值的意见，在此表示深切谢意！

#### 参 考 资 料

- 〔1〕毛同生 “中国大百科全书·天文卷” p.526.
- 〔2〕R.B.Dunn “Sky and Telescope”, 1969, 38, 368.
- 〔3〕D.L.Schrage, “AORA Engineering Technical Report, NO.56”, 1975.
- 〔4〕记者, “China Daily”, 1984, 12, 13.
- 〔5〕记者 “科学报”, 1984, 12, 13.
- 〔6〕S铁摩辛柯等, “材料力学”, 科学出版社, 1978.
- 〔7〕董庆华 “机械零件”, 中国农业出版社, 1978.
- 〔8〕许镇宇 “机械零件”, 高等教育出版社, 1965.
- 〔9〕 “航空机械设计手册”, 下册, 国防工业出版社, 1975.
- 〔10〕编辑组 “电气设备手册”, 1976.
- 〔11〕编辑部 “机床设计手册之五, 电力传动及控制系统设计”, 机械工业出版社, 1979.