

# 一种三关节的激光手术刀导光系统

范 玉 珉

激光手术刀的关键部件之一是导光系统，其作用是将激光束传递到医治部位，并使输出的激光束能在病人病区的一定范围内活动。目前国内外研制的导光系统有很多种，各有利弊。现将我所研制的三关节导光系统的组成及特点介绍如下。

## 一、组成

导光系统的一个最基本的技术要求就是要“刀头”在一定的空间范围内能灵活地作任意方向的运动，并要求导光系统对光束有最小能量损失，为此就要求导光系统的传光环节必须尽量少，而且又能满足“刀头”在一定的空间范围内具有五个到六个自由度。

目前广泛采用的导光系统，均由五至六个转动环节组成。每个转动环节的结构如图 1 所示：

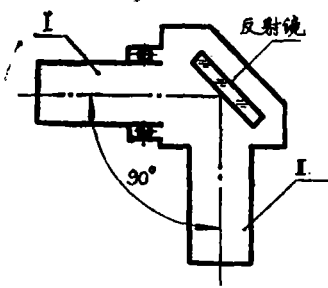


图 1 通用的转动关节

光束由 I 端传到 II 端，在图平面内光束被平面反射镜弯折了  $90^\circ$ ，由于反射镜能绕 I 轴旋转，因此使输出光束能在垂直于 I 轴的

平面内摆动。即光束获得了一个自由度。光束在空间任意运动的六个自由度均由各转动环节单独或组合完成。但是转动关节多，反射镜多，光能量损失也多。此外关节越多，要平衡各关节的重量越困难。由各关节的间隙，轴承椭圆度等因素形成的光轴偏移误差也越大，不仅容易颤动，降低了操作时的灵活性，而且光束偏移使光能被拦掉。要保证五至六个自由度，我们采用了如图 2 所示的机构。

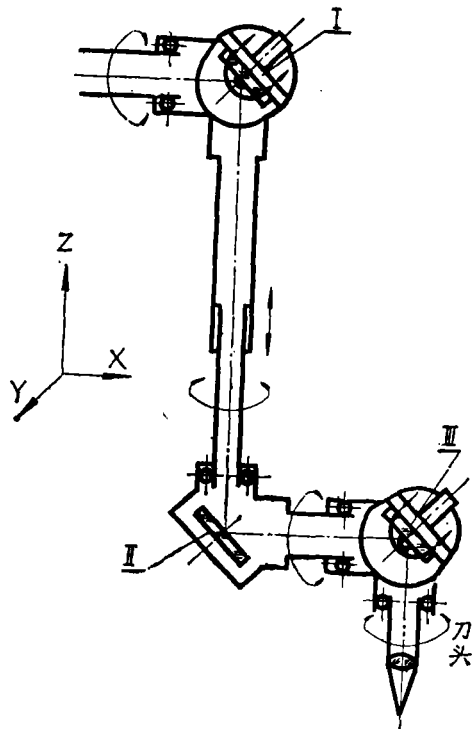


图 2 三关节手术刀导光系统

此系统共三块反射镜（不包括刀头），I、II 可同时完成二个自由度，既能绕输入光

轴旋转，又能在光轴平面内旋转，因此称它为张角关节。II为转动关节。为满足六个自由度，I和II反射镜间的距离可改变，称为升降关节。具体结构尺寸如图3。由此获得最大活动范围：x方向900毫米；y方向900毫米；z方向200毫米。

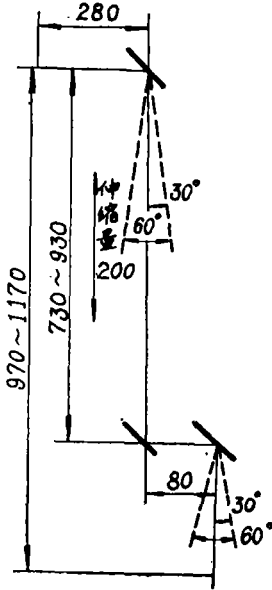


图3 导光系统结构尺寸

## 二、张角关节

张角关节的具体结构可以有多种型式，其主要要求是：当其中一臂固定，另一臂转动 $\alpha$ 角时，反射镜应绕着光轴交点同向转动 $\frac{\alpha}{2}$ ，这样才能保证光束在导光管内位置不变。其结构如图4：固定的输入导光管1、活动的输出管3和反射镜座7用轴2，通过拨叉8联结在一起，拨叉8的三个长槽分别与固定导光管的销钉5，活动管的销钉4，反射镜座的销钉6配合。而中部宽槽则与轴2配合。当活动导光管绕轴2转动角度 $\alpha$ 时，销钉4转至4'位置，拨叉8与销钉4配合的槽也被带到4'位置。由于拨叉是绕固定销钉5转动的，按圆周角等于圆心角之半，

拨叉的旋转角为 $\frac{\alpha}{2}$ ，因此反射镜座7也随拨叉转动 $\frac{\alpha}{2}$ 角。

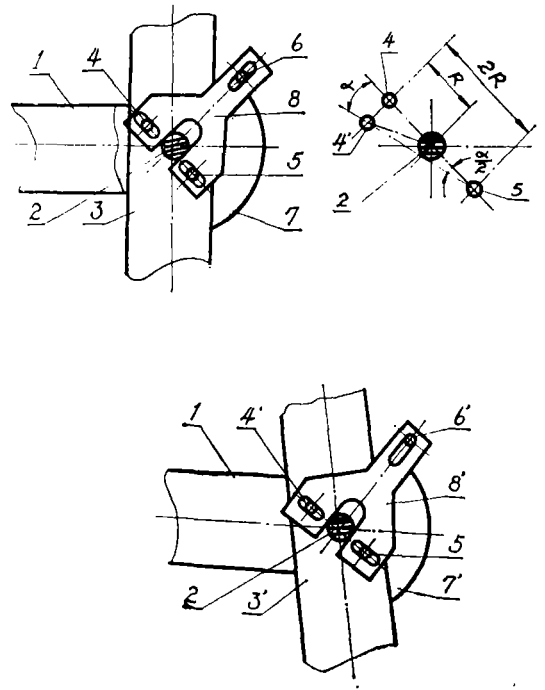


图4 张角关节的原理

这种张角结构要得到很好的效果必须做到以下几点：1，输入管与输出管的轴线必须垂直又相交，与轴2的配合间隙要尽量小，且两面要同心。2，固定销钉、活动销钉及反射镜销钉与拨叉上面的长短槽配合间隙要研配，间隙不大于0.003毫米，为了减少两管与轴2配合的摩擦阻力和间隙，采用了径向止推滚珠轴承。3，为适应光轴夹角在工作时的改变，反射镜的尺寸要适当加大，本系统导光管通光口径为15毫米，最大张角 $\pm 30^\circ$ ，选反射镜的尺寸为 $17 \times 32$ 毫米<sup>3</sup>。

## 三、镜头

为了满足不同医疗部位和不同目的需要，我们设计两种镜头：

## 1. 透射式 (砷化镓)

(1) 焦距  $f = 60$  毫米, 这种镜头适用大面积表皮的处理, 因为焦距短所以焦点处的光斑 (0.2毫米) 较小, 能量也比较集中, 但它的焦深短, 稍一离焦, 光斑显著增大, 单位面积上的能量则降低很多, 如离焦 2 毫米, 则能量密度要降低很多。

(2) 焦距  $f = 100$  毫米, 如条件于  $f = 60$  毫米一样, 则  $f = 100$  毫米的焦点光斑较大 (0.3毫米) 但它的焦深较长, 离焦 2 毫米能量降低不到 2 倍。因而它适用于有一定切割深度的手术。这样不至于在工作时因离焦而造成伤口大幅度加宽。

## 2. 反射式 (镀金的铍青铜镜)

由于  $\text{CO}_2$  激光器输出的波长为 10.6 微米, 人的眼睛看不见, 为便于使用者准确瞄准的需要, 我们还设计了反射式镜头。它通过离轴抛物镜聚焦。焦距  $f$  分别等于 60 毫米及 100 毫米两种。它可以使氦氖激光束同时通过镜头与  $\text{CO}_2$  激光聚焦在一个焦点上。其结构如图 5: 氦氖激光 1 通过  $45^\circ$  直角棱镜 2 进入导光系统, 通过反射镜 3 反射到“刀头”上的平面反射镜 4, 再反射到抛物镜 5, 由 5 聚焦到焦点上。当  $f = 100$  毫米时焦深也较长。

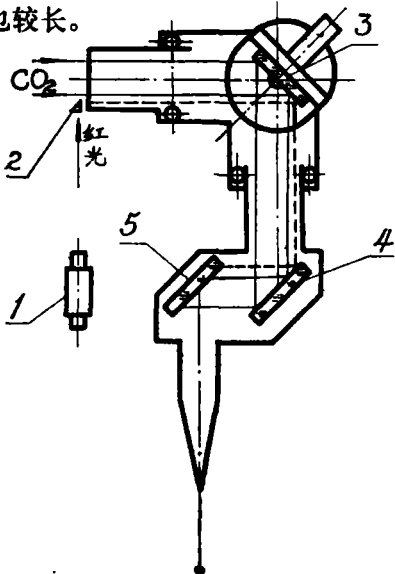


图 5 反射式聚焦及红光指示

## 四、平衡问题

目前不少手术刀的导光系统一个明显缺点就是各个环节无法平衡, 操作时比较费劲, 因而影响手术效果。对于一般采用五至六个转动关节的导光系统来说, 各关节在空间的位置变化很大, 要得到很好的平衡是很困难的。我们采用三关节的导光系统比较容易平衡。因为 II III 关节之间距离又很短, 引起的重心变化不大, 所以可忽略不管。本系统只考虑张角关节 I 和升降关节的平衡问题。

1. 张角关节 I 的平衡, 如图 6:

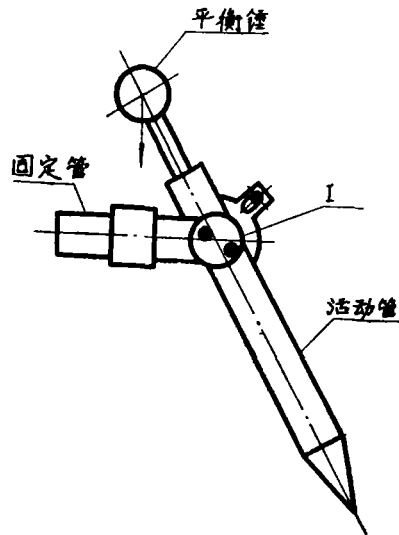


图 6 张角关节的平衡

在张角关节 I 的上部连接一适当的平衡块, 用于平衡活动的重量。由于“刀头”在空间的位置不断改变, 平衡块不可能在所有位置都起理想的平衡作用, 但大部分位置有明显效果。

2. 升降部分的平衡。见图 7: 活动管上下移动时靠平衡锤使其重量被平衡。

## 五、喷氮气措施

手术时为防止肌肉, 骨质燃烧及手术部

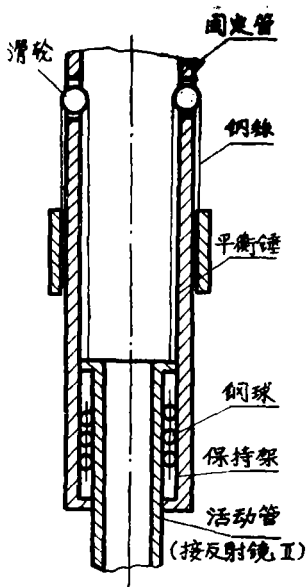


图7 升降部分平衡

位汽化产生的有害物质污染透镜，在“刀头”部分采用吹氮气的措施，具体结构如图8。

## 六、讨论

本导光系统我们叫它转动张角关节，其结构是模仿人的手臂运动原理。

人手臂的主要活动关节是肩部与肘部的关节，这个关节都是二个自由度关节。人的手臂可以非常灵活地完成各种复杂运动。

转动张角关节可使“刀头”在x、y平面内作任意方向移动，又靠升降机构实现了z方向的移动，这样就大大增强了各自由度的独

立性。其优点是：(1)由于各关节的运动都有它自己的方向，操作灵活，不像纯转动关节没有直线运动机构，“刀头”移动时靠各关节互相补偿，极易造成整劲。(2)采用张角关节，减少了反射镜，这样可以提高系统精度和减少光能量的损失。(3)系统关节少，经平衡后“刀头”拿在手里如拿笔，操作者易于掌握。(4)关节II做的较长，所以工作范围很大，x方向和y方向可达900毫米，z方向可达200毫米。(5)使用反射式“刀头”时，可带红光指示，便于使用者手术前的瞄准。

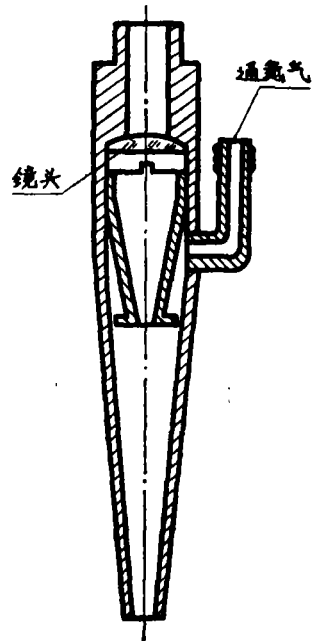


图8 吹氮气的“刀头”