

# 淮钢 6#高炉下降管吊装计算

吴云飞 陈晓斌

(中国一冶机电公司工安分公司 武汉 430081)

**摘要:**大型、不对称管道安装重心计算、吊点选择及吊装安全的演算。

**关键词:**下降管 异型构件 安装

## 引言

粗煤气下降管,以重量大,长度大、吊装难度大,安全要求严格一直是作为高炉钢结构安装的关键工序得到工程施工单位的重视。根据每个工程的特点、下降管一般采用了单机单吊点固定绳吊装、单机双吊点固定绳吊装、双机抬吊吊装等吊装法,但在下降管计算上,结构形式一般仍是对称式大型管道结构或中轴对称Y型三通管道。

大型高炉粗煤气下降管在设计中一般采用炉顶汇集单下降管的设计,下降管为顶部带弯头的直管段,一般顶部弯头随上升管或5通球一同安装,下降管为大型钢板卷焊直管,在我公司历年吊装实践中,下降管吊装发展了单机单点吊装,利用管道自身重心和吊点位置保证管道吊装后倾斜角度,在施工中具有简单实用、角度控制好,易调节等优点,在我公司具备本工法吊装条件的工程中,此吊装法已得到推广。

淮钢 6#高炉为在 650m<sup>3</sup> 高炉设计基础上改进的 1000m<sup>3</sup> 高炉,下降管的设计上仍沿用了原 650m<sup>3</sup> 高炉的“Y”型下降管,高炉煤气管在炉顶汇集为 2 根,分别

下降至重力除尘茶壶嘴前进行汇集,因现场场地、吊机起重量和工期要求的限制,施工中将设计的中轴对称Y型三通管道“形状三”分为“形状一”和“形状二”管道进行吊装(见下降管形状示意图)。吊装难点主要在“形状一”型管道的吊装计算上。

## 1 工程概况

淮钢 6#高炉位于淮钢场内,5#高炉西侧,为容积 1000m<sup>3</sup> 自立型高炉,重力除尘位于高炉南侧。6#高炉下降管为一个三叉管道,双叉部位管道直径为 $\Phi 2400\text{mm}$ ,单管段直径为 $\Phi 2000\text{mm}$ ,拼装长度 27.964m。就位后上端管中标高 54.1m,下端管中标高 31.576m,空中夹角 50°,理论重量 36.622t。现场主吊机为中联重工浦沅 160t 坦克吊,工况为 71m 主杆+12m 副杆工况,最大起重量为 30t,因工期原因,主吊机变更工况方案不可行,必须利用现有工况进行下降管的吊装。吊车站位于高炉西南侧出铁场及干法除尘间通道,炉渣处理脱水器平台及通廊预留位。下降管地面拼装场地位于重力除尘器和干法除尘间空地。平面布置见图 1:

作者简介:吴云飞 工程师

收稿日期:2012 年 5 月

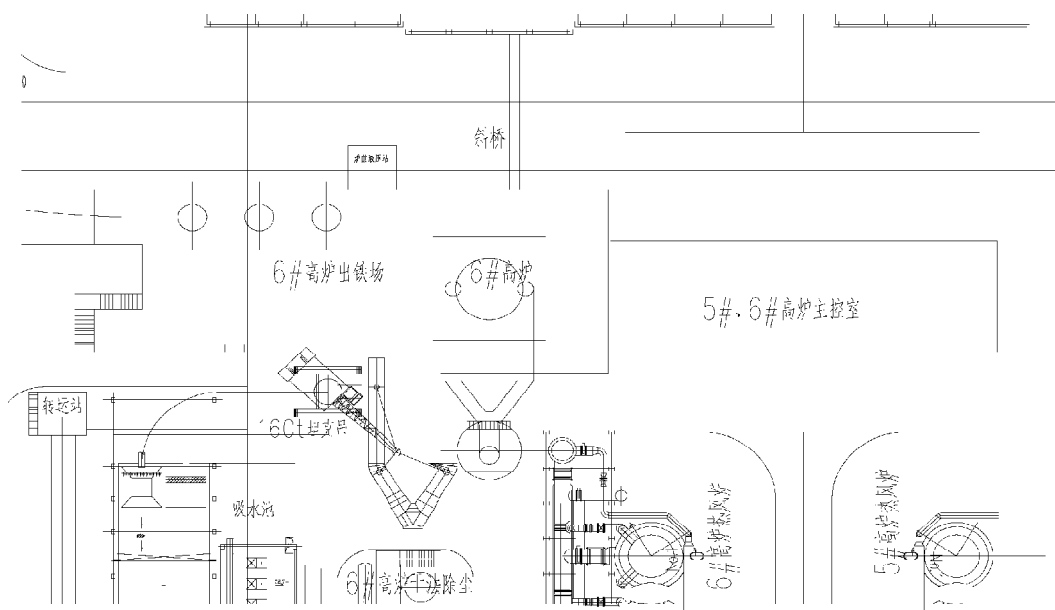


图1 6#高炉下降管吊装平面布置图

## 2 吊装方案

因主吊机工况不能变更,吊机最大起重量被限制在26t以下,下降管无法采用整体吊装方案。故改为分

段吊装方案,将设计的中轴对称Y型三通管道分为“形状一”和“形状二”管道进行吊装。(见下降管形状示意图2):

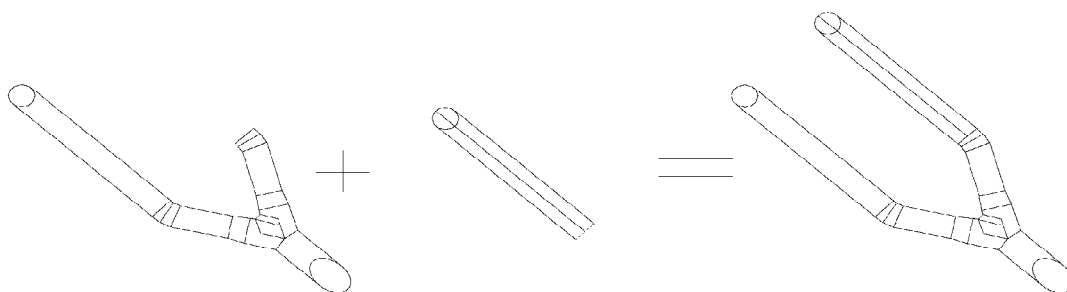


图2

在解体计算后,下降管分段后重量为20.691t和8.848t,满足吊机起重量要求,但此时下降管对口为两段斜口就位,下降管管道长度仅比两端对口间距小约100mm,就位对口操作时间长,为了减小吊装难度,在吊装时将顶部40°弯头,由通常吊装中同上升管连接改为同下降管连接后一同吊装,将原倾斜对口改为上大下小的不平行斜口对口,而下降管分段重量分别变为22.691t和9.766t,满足吊装起重量要求。在实践证明,采用此法对口,可将对口时间由3-4小时减小到0.5小时左右。

修改对口位后的下降管三维图见图3:

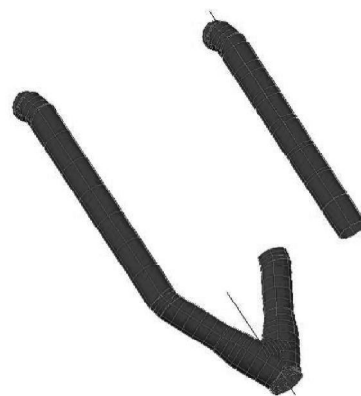


图3

下降管对口优劣对比侧视图如图4、图5:

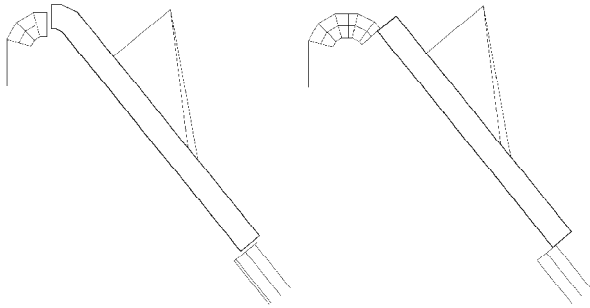


图4 修改后示意图

图5 修改前示意图

### 3 下降管吊装计算

吊装方案初步确定后,就开始进行下降管吊装的

计算工作,除了最基本的吊装重量计算外,针对第一钩吊装,还需进行下降管重心计算和钢丝绳受力计算,以确保吊装的顺利及安全。

#### 3.1 下降管重心计算

第一段下降管为异型,根据形状判断,我们可以确定本段下降管的重心位于下降管中间的空间位置,在方案编制时,我们采用的是力矩方程来计算下降管的重心。

根据上图,首先把下降管按照形状分解为标准形状,将每个标准形状简化为重心处集中荷载,根据力矩平衡法求出重心位置,因下降管在X方向和Y方向均为异型,故重心计算中在X方向和Y方向可列出以下方程:

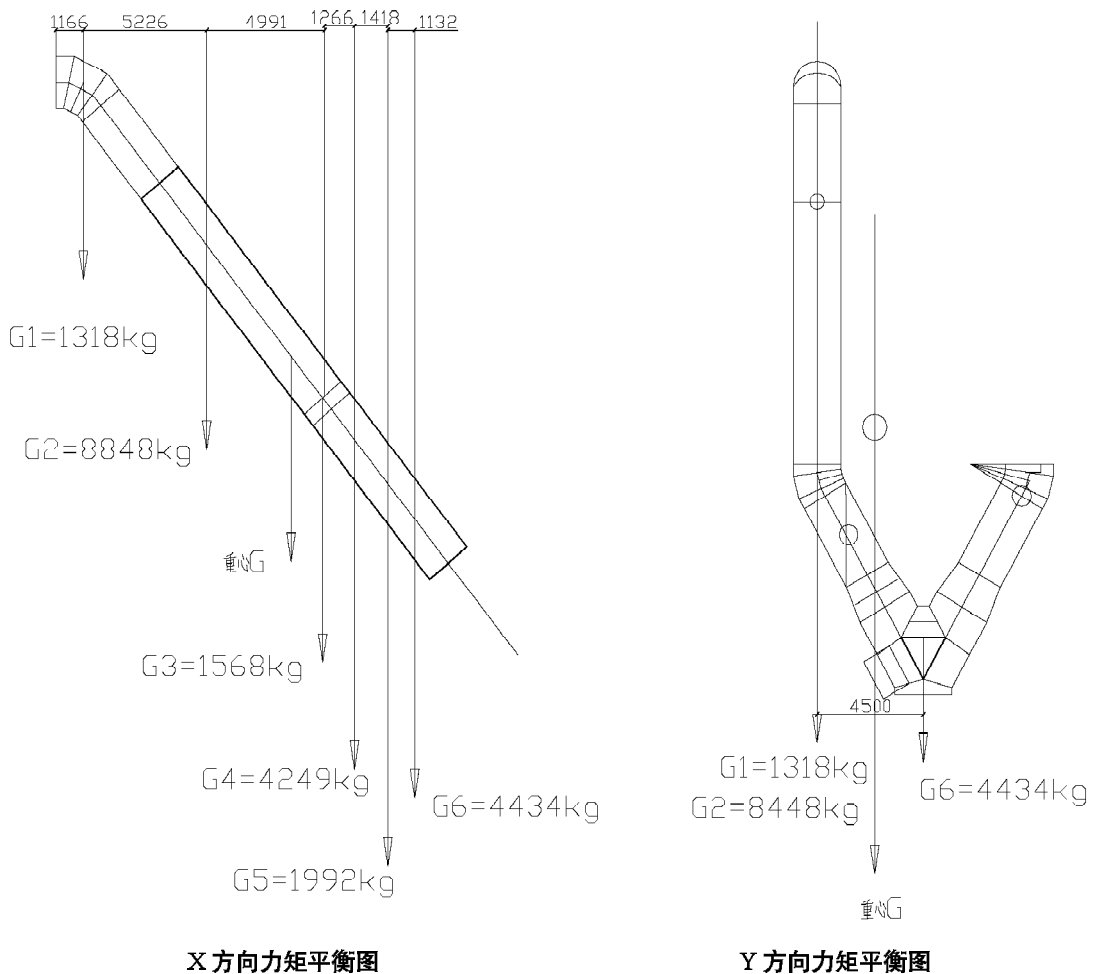


图5

X方向,设中心点在X位置, $(X-L1) \times G1 + (X-L2) \times G2 + (X-L3) \times G3 + (X-L4) \times G4 + (X-L5) \times G5 + (X-L6) \times G6 = 0$

代入数值后变为:

$$(X-1168.11) \times 1318 + (X-6394.23) \times 8448 + (X-11304) \times 1568 + (X-12648.51) \times 4249 + (X-14066) \times 1992 + (X-15198) \times 4434 = 0$$

求解后可得  $X=9965.37$

Y方向方程代入数值为

$$(Y-0) \times (1318+8448) + (Y-4500) \times 12243 = 0$$

求解后可得  $Y=2043$ .

重心位置得解(重心位置标注于Y方向力矩平衡图)

### 3.2 吊装及吊点的确定。

根据下降管的外形尺寸及重心位置,我们采用3根绳吊装方式进行下降管的吊装,根据经验,选择上图(Y方向力矩平衡图)3处吊点作为吊装固定点,采用绑扎方式进行吊装。因使用的单机吊装,钩位置的垂直投影和构件重心在同一垂线上,据此我们可以将下降管就位时的理论绳长进行确定。因下降管在地面摆放为水平摆放,就位时成 $51^\circ$ 角倾斜,起吊过程中,下降管

的重心投影是在不断变化的,因此3根绳必须设置1根绳作为可调节绳,用于调整下降管倾斜角度。吊点1处在就位时,所受拉力最小,但起吊时,吊点1处所受拉力最大,约为构件重的1/2,约11t,超出工程最大手拉葫芦的受力范围,故不能采用,吊点2在就位时所受力最大,故也不作为吊装调节点。吊点3受力适中,切作为调节绳固定点还可调整下降管水平Y方向水平角度的偏差,故选用3#吊点作为调节绳的吊点。

吊点选定后,最后的工作就是确定绳长和吊装绳受力计算。

在吊装就位时,1#吊点绳同管道垂直时,受力最小,在吊装就位时,我们设定此绳达到与下降管呈 $90^\circ$ 垂直状态,以确定吊钩位置,经计算,以吊钩作为空间点(0,0,0),则3个吊点(投影至管道轴线)的空间坐标点分别为吊点1(-5566.3,-4547.1,-2439)、吊点2(2682.7,-14630.4,-1266.26)、吊点3(1703.6,-13447、6240.3),采用空间距离计算法,可以解出吊钩至3个吊点轴线投影点的距离分别为:7590mm、14928mm和14921mm。实际吊装时减去投影点至管壁的距离再加上绑扎所需绳长,吊点1和吊点2的固定绳长分别为12.533m和21.358m。3#吊点理论净绳长度为15.287m,采用2根短绳配10t手拉葫芦进行长度调整。调整长度为 $\pm 500$ 。

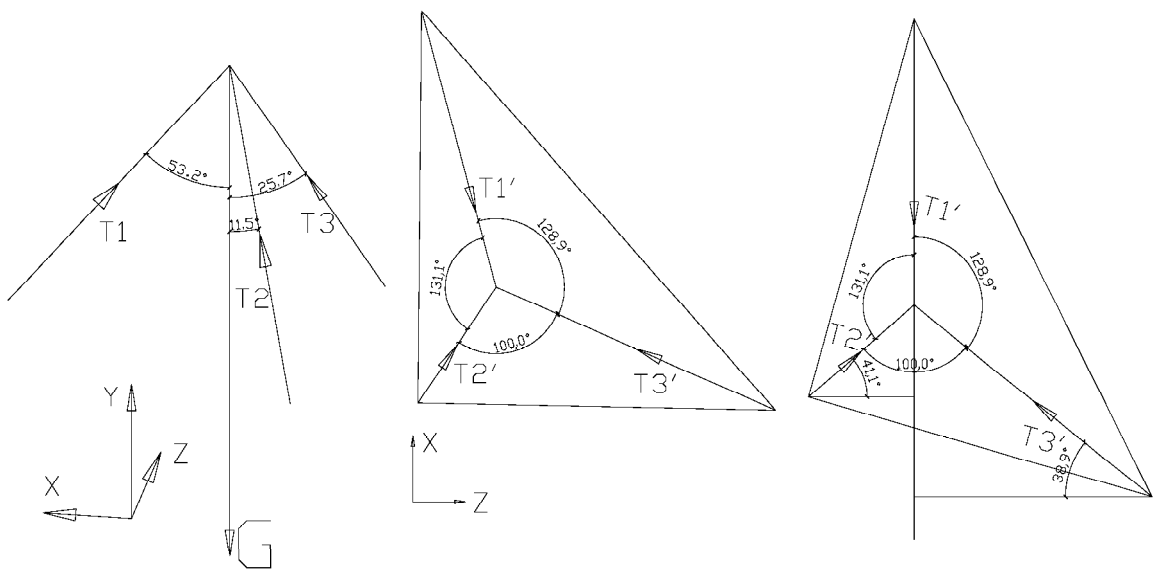


图7 方程[1]受力图

方程[2][3]受力图

方程[4]受力图

本次吊装计算难度最大的是吊装绳的受力计算,最易列的方程为 Y 方向方程:

$$T1 \times \sin\alpha + T2 \times \sin\beta + T3 \times \sin\gamma = 22.691t \quad [1]$$

( $\alpha, \beta, \gamma$ 分别为 3 根吊装绳同 Y 轴的空间角)

在后续计算中,利用 2 次投影,将 T1、T2、T3 投影在水平方向,形成水平方向力  $T1' = T1 \times \cos\alpha$ ,  $T2' = T2 \times \cos\beta$ ,  $T3' = T3 \times \cos\gamma$ 在根据各轴投影我们又列出了 X 方向和 Z 方向方程:

$$T1 \times \cos\alpha \times \cos\alpha X = T2 \times \cos\beta \times \cos\beta X + T3 \times \cos\gamma \times \cos\gamma X \quad [2]$$

$$T1 \times \cos\alpha \times \cos\alpha Z + T2 \times \cos\beta \times \cos\beta Z = T3 \times \cos\gamma \times \cos\gamma Z \quad [3]$$

而根据三角函数  $\sin\alpha = \cos(90^\circ - \alpha)$ 在实际求解中,会发现方程 [2]和方程 [3]实际为同一方程。根据水平投影,我们将 T2'和 T3'力进行分解投影在 T1 受力垂直方向:

$$T2' \times \cos\alpha \times \cos 41.1^\circ = T3' \times \cos\gamma \times \cos 38.9^\circ \quad [4]$$

根据方程[1][2][4]

共形成三个三元一次方程,对此方程组求解,计算出三根吊装钢丝绳的受力分别为:  $T1 = 28.82\text{KN}$ ;  $T2 = 139.76.\text{KN}$ ;  $T3 = 79.24\text{KN}$ 。

调整绳最大受力为 7.9t,采用 10t 手拉葫芦作为调整绳进行吊装可保证安全。

第二段下降管因重量小,受力计算简单,故不在此详述。

#### 4 分析及改进

在本次施工作业中,采用的重心计算法为传统的计算方法,绘图也主要以平面绘图分析为主,受力分析比较复杂,随着计算机 3D 技术的发展,对于构件重心计算,可以利用 CAD 软件强大的计算能力,采用绘制 3D 模型,利用 CAD 中的特性计算工具来求得重心位置,相对于本文中的计算法,具有快捷,简便,高效等优点,对于大型构件安装,也具有直观,易检查,卡杆,建筑物卡阻情况易检查等优点。对于我们施工技术人员,3D 模型绘制能力将在以后的施工中愈加重要。

本方案吊点选用绑扎法,主要原因是安装主绳长度适合使用绑扎法,以及吊装前类似工地出现吊装中焊接式吊鼻撕裂事故,相关部门要求使用绑扎法。但因绑扎固定点会在钢丝绳收紧后产生滑移造成实际吊装中吊点变化,对吊装主要影响体现在 3#吊点偏移出吊钩及管道中心连线过多,在下降管吊装就位时,无法保证裤衩弯头达到水平状态,对安装质量和第二段下降管吊装时造成一定影响。

随着计算机辅助施工软件的不断发展,安装辅助软件,计算软件在近几年飞速发展,国内施工企业在施工中使用各种辅助软件进行吊装计算演算,模拟吊装的案例也不断增多。而作为国内老牌安装企业,我们仍然采用比较传统的工艺和通用的制图软件进行计算和吊装模拟。提高施工计算机应用和加大专业软件的投入,是我们传统施工企业新的发展方向。

(上接第 66 页)

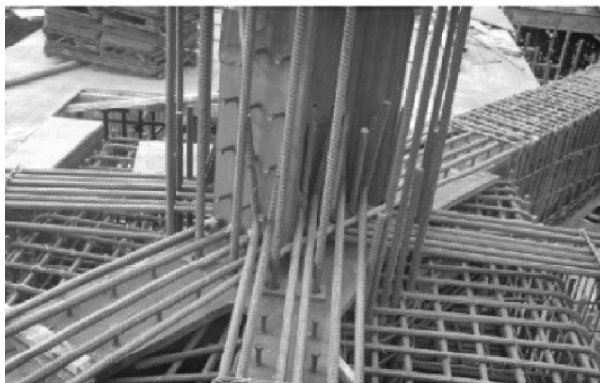


图 19 复杂梁柱节点钢筋穿插及绑扎成型

根据对华置广场 40 余个钢骨混凝土梁柱节点进行三维节点深化,明确了在复杂多角度普通/钢骨混凝土梁相交的节点下型钢节点的各个构件的加工尺寸以及每一根钢筋的穿插路线及连接措施,同时深化设计了钢构件上焊接以及开孔的具体位置,将平面上的复杂钢骨梁柱节点转变成为优化后的立体施工模型以及详细零件加工图,有效的指导了现场的施工作业,较好的解决了此类复杂节点施工难题,而此类依托三维深化软件辅助施工的应用技术也将为未来类似工程的实施起到良好的新技术示范作用。