

李博之 著



高压架空输电线路 施工技术手册

杆塔组立计算部分

(第二版)



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

高压架空输电线路 施工技术手册

杆塔组立计算部分(第二版)

李博之 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

本书内容包括高压架空输电线路杆塔组立施工中的施工布置原则和设备参数选择、索具静力分析、杆塔强度校验的方法。主要叙述我国常用的活动系吊钢绳倒落式抱杆、活动系吊钢绳座腿式抱杆、定长系吊钢绳倒落式抱杆、直立式抱杆整体组立杆塔以及应用外拉线抱杆、内拉线抱杆、摇臂抱杆、倒装法分解组塔的施工布置原则及其索具静力分析的图解法和数解法。在叙述上述方法的同时,还附以若干计算曲线图,以便现场直接查用。

本书可供从事高压架空输电线路建设的工人和技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

高压架空输电线路施工技术手册杆塔组立计算部分(第二版)/李博之编著.-北京:中国电力出版社,2001

ISBN 7-5083-0653-8

I.高… II.李… III.高电压-输电线路:架空线路-电力工程-技术手册 IV.TM752

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第034196号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号 100044 http://www.cepp.com.cn)

北京市通县大中印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

1989年6月第一版

2002年1月第二版 2002年1月北京第二次印刷

850毫米×1168毫米 32开本 11.25印张 385千字

印数 7211—10210册 定价 30.00元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

前言

杆塔组立是高压架空输电线路施工的重要工序之一，建国 50 余年来，我国广大的架空输电线路施工工人和技术人员，在长期实践中，创造了不少先进的杆塔组立方法和施工计算理论，内容是十分丰富而可贵的，亟应深入整理总结予以推广，从而推动我国高压架空输电线路的建设。

本手册是原电力建设总局编写的《高压架空输电线路施工技术手册》的系列内容之一，在编写形式、考虑原则、叙述深度等方面，都与已出版的“起重运输部分”、“架线工程计算部分”相一致，其主要内容为叙述我国常用的各种整体组立杆塔和分解组塔的施工布置原则和设备参数选择、索具静力分析、杆塔强度校验的方法。可供从事高压架空输电线路施工的工人和技术人员参考。

自从电算技术在我国高压架空输电线路杆塔组立施工计算中采用以来，已使我国输电线路杆塔组立施工计算水平获得了提高，为极大发挥本手册在现场实用和速检的效果，至盼能见到与本手册有关计算方法相配套的完整电算程序问世，以满足广大同行的需要。深信电算程序的配套与完善，将会对我国高压架空输电线路杆塔组立施工效率的提高产生积极的影响。

本手册的出版，得到了中国电力出版社的支持，在此特致谢意。

作 者

2001 年 5 月



前言

第一章 杆塔重心与风荷中心的高度	1
1-1 铁塔重心的高度	1
1-2 混凝土杆架重心的高度	5
1-3 铁塔风荷中心的高度	6
1-4 混凝土杆架风荷中心的高度	7
第二章 活动系吊钢绳倒落式抱杆整体组立杆塔	10
2-1 活动系吊钢绳倒落式抱杆整立杆塔的基本结线型式	10
2-2 活动系吊钢绳倒落式抱杆整立杆塔的布置原则与设备参数 选择	14
2-3 活动系吊钢绳倒落式抱杆整立杆塔的轨迹图形	17
2-4 活动系吊钢绳倒落式抱杆整立杆塔的索具静力计算	31
第三章 活动系吊钢绳座腿式抱杆整体组立铁塔	74
3-1 活动系吊钢绳座腿式抱杆整立铁塔的基本结线型式	74
3-2 活动系吊钢绳座腿式抱杆整立铁塔的索具静力计算	74
第四章 定长系吊钢绳倒落式抱杆整体组立高杆塔	88
4-1 定长系吊钢绳倒落式抱杆整立高杆塔的布置原则与设备参数 选择	88
4-2 定长系吊钢绳倒落式抱杆整立高杆塔的索具静力计算	90
第五章 直立式抱杆整体组立杆塔	104
5-1 直立式抱杆整立杆塔的吊装方式	104
5-2 直立式抱杆整立杆塔的布置原则与设备参数选择	106

5-3 直立式抱杆整立杆塔的索具静力计算	110
第六章 外拉线抱杆分解组塔	128
6-1 外拉线抱杆分解组塔的吊装方式	128
6-2 外拉线抱杆分解组塔的布置原则与设备参数选择	136
6-3 外拉线抱杆分解组塔的索具静力计算	138
第七章 内拉线抱杆分解组塔	155
7-1 内拉线抱杆分解组塔的吊装方式	155
7-2 内拉线抱杆分解组塔的布置原则与设备参数选择	157
7-3 内拉线抱杆分解组塔的索具静力计算	159
第八章 摇臂抱杆分解组塔	175
8-1 摇臂抱杆分解组塔的吊装方式	175
8-2 摇臂抱杆分解组塔的技术原则	178
8-3 摇臂抱杆分解组塔的索具静力计算	179
第九章 倒装组塔	201
9-1 倒装组塔的吊装方式与方法	201
9-2 倒装组塔各工作系统的穿连方式	203
9-3 塔身水平风荷载计算	205
9-4 倒装组塔的索具静力计算	211
第十章 杆塔截面弯矩、杆件内应力及强度校验	223
10-1 窄身杆塔截面的静横向弯矩	223
10-2 窄身杆塔截面的静纵向弯矩	253
10-3 窄身杆塔截面的静综合弯矩	274
10-4 铁塔杆件的内应力	275
10-5 杆塔强度的校验	317
附录 1 环形钢筋混凝土电杆国家标准 (GB396-94) 摘录	324
附录 2 环形预应力混凝土电杆国家标准 (GB4623-94)	
摘录	337

第一章

杆塔重心与风荷中心的高度

1-1 铁塔重心的高度

输电线路铁塔的塔段，其塔面结构的辅助材均为对称布置，因此塔面结构的重心与其轮廓面积的形心可视为重合。由于塔体结构也为对称布置，因此又可认为塔面结构重心的高度与塔段结构重心的高度相等。由此，输电线路铁塔各塔段的塔面轮廓面积的形心高度，即为各塔段结构重心的高度。

输电线路铁塔一般是由塔头段、塔身段及塔腿段等组合而成的，因此整个铁塔重心的高度，可根据整体对塔底的重力矩与所有塔段对塔底的重力矩之和相等的原则予以确定。本章将以酒杯型塔为例，说明铁塔重心高度的计算方法。

一、塔头段重心的高度

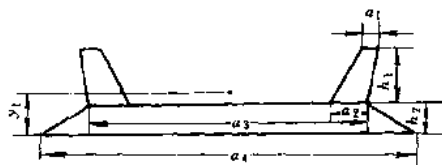


图 1-1 塔头段重心的高度

$$y_1 = \frac{1}{3} \cdot \frac{h_1^2(2a_1 + a_2) + 3h_1 h_2(a_1 + a_2) + \frac{h_2^2}{2}(2a_3 + a_4)}{h_1(a_1 + a_2) + \frac{h_2}{2}(a_3 + a_4)} \quad (1-1)$$

式中 y_1 ——塔头段重心的高度，m；

a_1 、 a_2 ——地线顶架顶边、底边的长度，m；

- h_1 ——地线顶架的投影高度, m;
 a_3 、 a_4 ——导线横担顶边、底边的长度, m;
 h_2 ——导线横担的投影高度, m。

二、塔颈段重心的高度

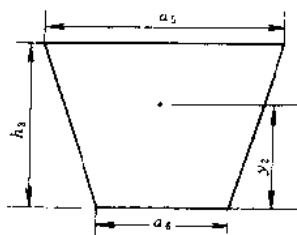


图 1-2 塔颈段重心的高度

$$y_2 = \frac{h_3}{3} \cdot \frac{2a_5 + a_6}{a_5 + a_6} \quad (1-2)$$

- 式中 y_2 ——塔颈段重心的高度, m;
 a_5 、 a_6 ——塔颈段顶边、底边的长度, m;
 h_3 ——塔颈段的投影高度, m。

三、1 塔身段重心的高度

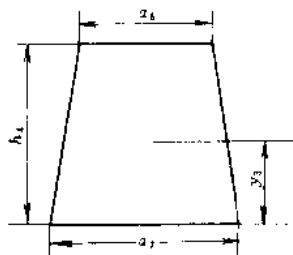


图 1-3 1 塔身段重心的高度

$$y_3 = \frac{h_4}{3} \cdot \frac{2a_6 + a_7}{a_6 + a_7} \quad (1-3)$$

- 式中 y_3 ——1 塔身段重心的高度, m;
 a_6 、 a_7 ——1 塔身段顶边、底边的长度, m;
 h_4 ——1 塔身段的投影高度, m。

四、2塔身段重心的高度

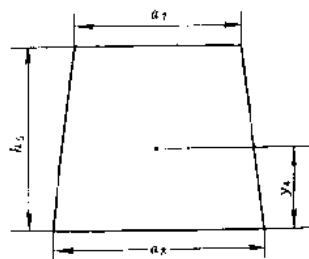


图 1-4 2塔身段重心的高度

$$y_4 = \frac{h_5}{3} \cdot \frac{2a_7 + a_8}{a_7 + a_8} \quad (1-4)$$

式中 y_4 ——2塔身段重心的高度，m；

a_7 、 a_8 ——2塔身段顶边、底边的长度，m；

h_5 ——2塔身段的投影高度，m。

五、塔腿段重心的高度

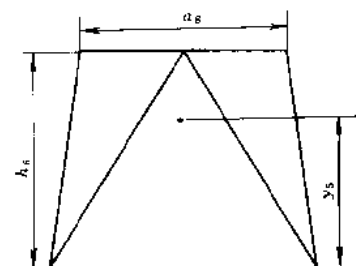


图 1-5 塔腿段重心的高度

$$y_5 = \frac{2}{3} h_6 \quad (1-5)$$

式中 y_5 ——塔腿段重心的高度，m；

h_6 ——塔腿段的投影高度，m。

六、铁塔重心的高度

$$y_0 = \frac{H_1 Q_1 + H_2 Q_2 + H_3 Q_3 + H_4 Q_4 + H_5 Q_5 + H_6 Q_6}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6} \quad (1-6)$$

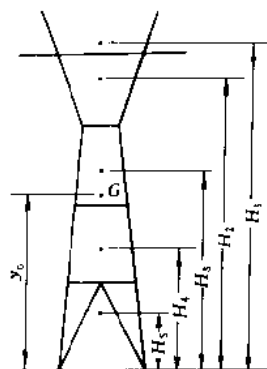


图 1-6 酒杯型塔重心的高度

$$H_1 = y_1 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6$$

$$H_2 = y_2 + h_4 + h_5 + h_6$$

$$H_3 = y_3 + h_5 + h_6$$

$$H_4 = y_4 + h_6$$

$$H_5 = y_5$$

式中 y_0 ——酒杯型塔重心 G 的高度（对塔底），m；

H_1 ——塔头段重心的高度（对塔底），m；

H_2 ——塔颈段重心的高度（对塔底），m；

H_3 ——1 塔身段重心的高度（对塔底），m；

H_4 ——2 塔身段重心的高度（对塔底），m；

H_5 ——塔腿段重心的高度（对塔底），m；

Q_1 ——塔头段的重力，kN^①；

Q_2 ——塔颈段的重力，kN；

Q_3 ——1 塔身段的重力，kN；

Q_4 ——2 塔身段的重力，kN；

Q_5 ——塔腿段的重力，kN。

① 质量 1 千克（kg）的物体，在地球引力场中，受到的引力为 9.80665 牛顿（N）。故将物体质量的千克（kg）数乘以 9.80665 便得到该物体重力的牛顿（N）数。

1-2 混凝土杆架重心的高度

根据求铁塔重心高度的相同原则，以 II 型混凝土杆架为例，其重心高度的计算方法如下。

一、混凝土杆架重心的高度

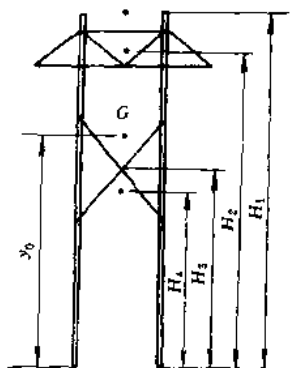


图 1-7 II 型混凝土杆架重心的高度

$$y_0 = \frac{H_1 Q_1 + H_2 Q_2 + H_3 Q_3 + H_4 Q_4}{Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4} \quad (1-7)$$

式中 y_0 ——II 型混凝土杆架重心 G 的高度（对杆底），m；

H_1 ——地线顶架重心的高度（对杆底），m；

H_2 ——导线横担重心的高度（对杆底），m；

H_3 ——叉梁重心的高度（对杆底），m；

H_4 ——混凝土主杆重心的高度（对杆底），m；

Q_1 ——地线顶架（两套）的总重力，kN；

Q_2 ——导线横担的重力，kN；

Q_3 ——叉梁（两根）的总重力，kN；

Q_4 ——混凝土主杆（两根）的总重力，kN。

对于等径混凝土主杆，式（1-7）中， $H_4 = \frac{h}{2}$ ；对于锥形混凝土主杆为

$$H_4 = \frac{h}{4} \cdot \frac{(D_1^2 + 2D_1 d_1 + 3d_1^2) - (D_2^2 + 2D_2 d_2 + 3d_2^2)}{(D_1^2 + D_1 d_1 + d_1^2) - (D_2^2 + D_2 d_2 + d_2^2)} \quad (1-8)$$

式中 h ——混凝土主杆的长度, m;

D_1 、 D_2 ——锥形混凝土主杆, 底部的外径、内径, m;

d_1 、 d_2 ——锥形混凝土主杆, 顶部的外径、内径, m。

1.3 铁塔风荷中心的高度

输电线路铁塔承受的风荷载, 假设均匀作用于其迎风面上, 因此计算风力的机械影响时, 可视为铁塔各塔段或构件上的风荷载集中作用于塔段或构件轮廓投影面积的形心上, 同时还认为同一塔段或构件上风压强度 (取该塔段对地平均高度处的风压强度) 都相等。因此, 整个铁塔承受的总风荷载可视为集中作用于其风荷中心, 该风荷中心的高度, 可根据整体对地面的总风力矩与所有塔段对地面的风力矩之和相等的原则确定。

又由于脉动风载对于底端固定的悬臂状铁塔的动力反应与悬空吊装状态铁塔的动力反应不同, 所以虽然两种情况下风速相同, 而作用于铁塔的总风荷载及其相应的风荷中心高度却不相同, 这将在计算时分别采用不同的风振系数 β 值予以反映。

以图 1-8 所示酒杯型塔为例, 其风荷中心高度的计算方法如下。

$$z_0 = \frac{H_1 P_1 + H_2 P_2 + H_3 P_3 + H_4 P_4 + H_5 P_5}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5} \quad (1-9)$$

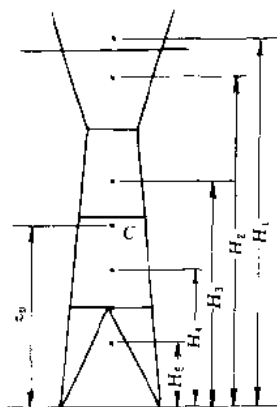


图 1-8 酒杯型塔风荷中心的高度

其中

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= 1.3 \times 9.81 \times 10^{-3} (1 + \eta) \phi K_{d1} F_1 \frac{v^2}{16} \beta \\ P_2 &= 1.3 \times 9.81 \times 10^{-3} (1 + \eta) \phi K_{d2} F_2 \frac{v^2}{16} \beta \\ P_3 &= 1.3 \times 9.81 \times 10^{-3} (1 + \eta) \phi K_{d3} F_3 \frac{v^2}{16} \beta \\ P_4 &= 1.3 \times 9.81 \times 10^{-3} (1 + \eta) \phi K_{d4} F_4 \frac{v^2}{16} \beta \\ P_5 &= 1.3 \times 9.81 \times 10^{-3} (1 + \eta) \phi K_{d5} F_5 \frac{v^2}{16} \beta \end{aligned} \right\} \quad (1-10)$$

$$\phi = \frac{\text{桁架实际投影面积}}{\text{桁架轮廓投影面积}}$$

式中

z_0 ——酒杯型塔风荷中心 C 的高度 (对地面), m;

P_1 ——塔头段的风荷载, kN;

P_2 ——塔颈段的风荷载, kN;

P_3 ——1 塔身段的风荷载, kN;

P_4 ——2 塔身段的风荷载, kN;

P_5 ——塔腿段的风荷载, kN;

H_1 、 H_2 、 H_3 、 H_4 、 H_5 ——塔头段、塔颈段、1 塔身段、2 塔身段、塔腿段轮廓投影面积形心的对地高度 (即各段重心的对地高度), m;

F_1 、 F_2 、 F_3 、 F_4 、 F_5 ——塔头段、塔颈段、1 塔身段、2 塔身段、塔腿段的轮廓投影面积, m^2 ;

K_{d1} 、 K_{d2} 、 K_{d3} 、 K_{d4} 、 K_{d5} ——塔头段、塔颈段、1 塔身段、2 塔身段、塔腿段的对地平均高度处的风压高度变化系数, 参见第九章表 9-3 或表 9-4;

ϕ ——空间桁架挡风系数, 取 0.3;

η ——空间桁架背风面的风荷降低系数, 参见表 9-1;

v ——离地标准高度为 10m 或 2m 处的 2min 平均风速, m/s;

β ——塔构风振系数, 参见第九章式 (9-22)。

1-4 混凝土杆架风荷中心的高度

根据求铁塔风荷中心高度的相同原则, 以图 1-9 所示 Π 型混凝土杆架为

例，其风荷中心高度的计算方法如下：

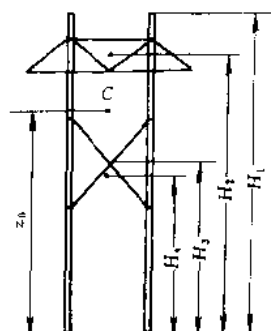


图 1-9 II 型混凝土杆架风荷中心的高度

$$z_0 = \frac{H_1 P_1 + H_2 P_2 + H_3 P_3 + H_4 P_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4} \quad (1-11)$$

其中

$$P_1 = 2 \times 1.3 \times 9.81 \times 10^{-3} (1 + \eta) \phi K_{d1} F_1 \frac{v^2}{16} \beta$$

$$P_2 = 1.3 \times 9.81 \times 10^{-3} (1 + \eta) \phi K_{d2} F_2 \frac{v^2}{16} \beta$$

$$P_3 = 2 \times 1.3 \times 9.81 \times 10^{-3} K_{d3} F_3 \frac{v^2}{16} \beta$$

$$P_4 = 2 \times 0.7 \times 9.81 \times 10^{-3} K_{d4} F_4 \frac{v^2}{16} \beta$$

式中

z_0 ——II 型混凝土杆架风荷中心 C 的高度（对地面），m；

P_1 ——地线顶架（两套）的总风荷载，kN；

P_2 ——导线横担的风荷载，kN；

P_3 ——叉梁（两根）的总风荷载，kN；

P_4 ——混凝土主杆（两根）地上部分的总风荷载，kN；

H_1 、 H_2 、 H_3 ——地线顶架、导线横担、叉梁轮廓投影面积形心的对地高度（即各部分重心的对地高度），m；

H_4 ——混凝土主杆地上部分轮廓投影面积形心的对地高度，m；

对于等径混凝土主杆， $H_4 \approx \frac{h_0}{2}$ ；

对于锥形混凝土主杆, $H_4 = \frac{h_0}{3} \cdot \frac{2d_1 + D_{10}}{d_1 + D_{10}};$

F_1 ——每套地线顶架的轮廓投影面积, m^2 ;

F_2 ——导线横担的轮廓投影面积, m^2 ;

F_3 ——每根叉梁的轮廓投影面积, m^2 ;

F_4 ——每根混凝土主杆地上部分的轮廓投影面积, m^2 ;

K_{d1} 、 K_{d2} 、 K_{d3} 、 K_{d4} ——地线顶架、导线横担、叉梁、混凝土主杆地上部分的对地平均高度处的风压高度变化系数, 参见第九章表 9-3 或表 9-4;

h_0 ——混凝土杆地上部分的长度, m ;

d_1 ——锥形混凝土主杆顶部的外径, m ;

D_{10} ——锥形混凝土主杆地面处的外径, m 。

第二章

活动系吊钢绳倒落式抱杆 整体组立杆塔

活动系吊钢绳倒落式抱杆组立杆塔，是在地面将杆塔整体组装完毕，藉能活动调节的系吊钢绳系统与抱杆相连，然后牵引钢绳系统牵引抱杆，使抱杆绕其底部旋转，带动杆塔整体绕其地面支点旋转起立以至垂直就位。因这种组立方法的高空作业少、安装质量高而速度快，故在杆塔组立施工中广泛得到采用。本章专门介绍整体组立混凝土杆或柱型铁塔的有关内容及各索具静力解算方法。

2-1 活动系吊钢绳倒落式抱杆整体组立杆塔的基本结线型式

一、系吊钢绳系统的结线型式

1. 单点系吊（见图 2-1）

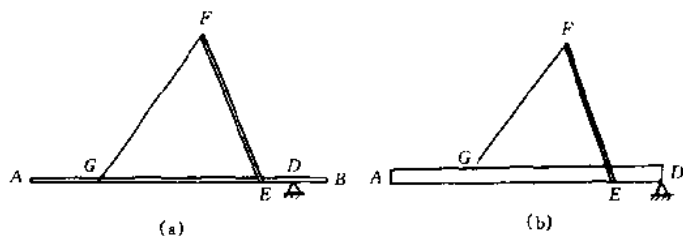


图 2-1 单点系吊

(a) 组立混凝土杆；(b) 组立柱型铁塔

AB—混凝土杆；AD—柱型铁塔；EF—抱杆；FG—系吊钢绳；

D—杆塔整立时的地面支点

2. 单滑车两点系吊 (见图 2-2)

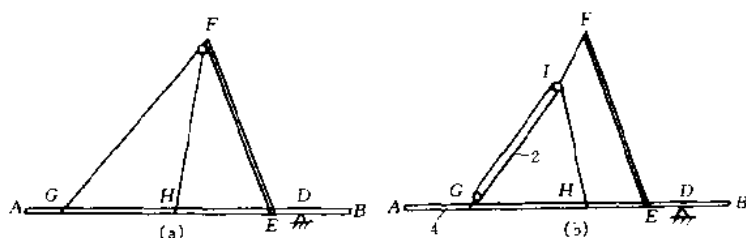


图 2-2 单滑车两点系吊

图 2-2(a) 是普遍采用的一种结线型式, 其系吊钢绳 CFH 通过单轮滑车 F 与抱杆顶点直接连接, 随着杆塔起立, 系吊钢绳可以沿滑车 F 调节方位。

图 2-2 (b) 的系吊钢绳 GH , 其 GI 分支改用 1-1 滑车组, 以增大杆塔头部吊点的支反力, 从而改善了杆塔身的横向弯矩分布。

3. 单滑车三点系吊 (见图 2-3)

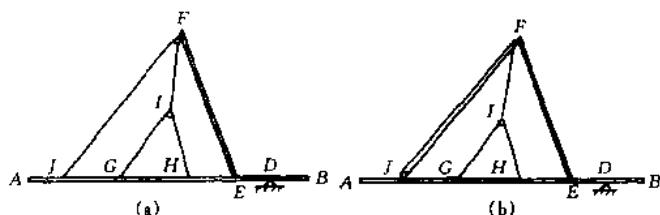


图 2-3 单滑车三点系吊

图 2-3 (a) 是普遍采用的一种结线型式, 其 GH 为分系吊钢绳套, JFI 为总系吊钢绳套; I 及 F 为单轮滑车, 在杆塔起立过程起平衡调节作用。

图 2-3 (b) 的 JFI 为总系吊钢绳套, 其中 IF 分支改用 1-1 滑车组, 以增大杆塔头部吊点的支反力, 从而改善杆塔身的横向弯矩分布。

4. 单滑车四点系吊 (见图 2-4)

图 2-4 (a)、(b)、(c) 的结线型式都曾在高杆塔整立中采用过, 而结线型式 (a) 则是最合理而且在高杆塔整体组立中普遍采用的一种; K 、 I 及 F 均为单轮滑车, 在起立过程中起平衡调节作用。图 2-4 (a) 中的 GH 、 IKM 及图 2-4 (b)、(c) 中的 GH 、 JKM 均为分系吊钢绳套, 图 2-4 (a) 中的 JFK 及图 2-4 (b)、(c) 中的 KFI 均为总系吊钢绳套。