

高等学校教学用书

采油机械

Р.И. 施依先柯著



中国工业出版社

本書全面敘述了油礦采油機器與機械的計算基礎、構造和工作原理，并介紹了井架與輕便井架、通井機、深井泵裝置的單獨運動與集合運動、抽油桿、离心泵、活塞泵、旋轉泵及壓縮機。

此書可作為高等石油學校教材或供油礦技術人員參考；也可作為中技采油專業的參考教材。

Р. И. ШИЩЕНКО
НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ
МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ
ГОСОПТЕХИЗДАТ
МОСКВА—1954

采 油 机 械

(根據石油工業出版社俄文原印)

中國工業出版社出版（北京 經陽門外10號）

（北京市書刊出版事業許可證出字第110號）

石油工業出版社印刷廠印刷

新華書店科技發行所發行。各地新華書店經售

開本 $850 \times 1168^{1/32}$ 。印張 $12^{24/2}$ 。字數304,000

1957年1月北京第一版

1961年6月北京新二版。1961年6月北京第一次印刷

印數0001—530。定價（10）2.10元

統一書號：15165·32（石油—2）

目 录

第一章 井架与輕便井架	1
§ 1. 井架的用途	1
§ 2. 作用于井架上的力	4
§ 3. 井架的水平載荷計算	10
§ 4. 井架的垂直載荷計算	12
§ 5. 井架基礎	17
§ 6. 翻繩	18
§ 7. 井架的安裝	20
§ 8. 輕便井架	21
第二章 矿場用通井机	27
§ 9. 通井机的用途及其类型	27
§ 10. 矿場用通井机速度的選擇	28
§ 11. 矿場用通井机的發动机	38
§ 12. 矿場用通井机的絞車	39
§ 13. 絞車的刹車	43
§ 14. 通井机	46
第三章 深井泵采油的單独連动裝置	52
§ 15. 緒論	52
§ 16. 抽油机的基本理論	55
§ 17. 抽油机的平衡	59
§ 18. 切綫力	64
§ 19. 抽油机的較精确运动学	69
§ 20. 抽油机的精确运动学	71
§ 21. 求游梁式抽油机加速度的近似公式	79
§ 22. 在实际条件下作用于抽油机上的力	83

§ 23. 抽油机各桿长度合理比值的選擇	91
§ 24. 抽油机平衡的分析	94
§ 25. 平衡抽油机的实用方法	102
§ 26. 負切綫力与几种使發動机載荷达到均匀的方法	107
§ 27. 抽油机在苏联的發展史	112
§ 28. 1950年抽油机的标准級	119
§ 29. 决定抽油机电動机的功率	131
§ 30. 在具体工作条件下深井泵设备的選擇	138
第四章 集合連动裝置	144
§ 31. 一合抽油机照管兩口油井	144
§ 32. 集合連动裝置的平衡	149
§ 33. 繪制集合連动裝置切綫力圖的方法	156
§ 34. 集合連动裝置电动机功率的選擇	158
§ 35. 苏联石油矿場采用的集合連动裝置的情况	158
§ 36. 牽引抽油机与拉桿	162
第五章 深井泵的抽油桿	165
§ 37. 抽油桿及其工作特点	165
§ 38. 抽油桿柱的計算	178
§ 39. 抽油桿柱下部的加重	182
第六章 离心泵	185
§ 40. 离心泵工作的一般指标	185
§ 41. 离心泵的構造与作用原理	186
§ 42. 离心泵的基本方程式	190
§ 43. 渦輪机的基本方程式与渦流理論	193
§ 44. 輪叶数目为有限值的影响	196
§ 45. 求压头的实用公式	199
§ 46. 輪叶的出口角度对泵工作的影响	200
§ 47. 离心泵生产率的決定	204
§ 48. 离心泵的分类	207
§ 49. 导向器	210

§ 50. 泵的特性曲线	216
§ 51. 离心泵連入管綫的工作情况	221
§ 52. 泵所需的功率与泵的效率	223
§ 53. 軸向压力的平衡	226
§ 54. 液体粘度对离心泵工作的影响	229
§ 55. 离心泵的吸入条件	239
§ 56. 石油矿場上离心泵的采用	243
§ 57. 真空泵	249
第七章 活塞泵	251
§ 58. 活塞泵的工作原理	251
§ 59. 泵生产率的計算	253
§ 60. 吸入	255
§ 61. 排出	261
§ 62. 泵排量的不均匀性	264
§ 63. 空气包的計算	271
§ 64. 凡尔	274
§ 65. 凡尔落到凡尔座上不会产生撞击的条件	281
§ 66. 盤形凡尔的計算	282
§ 67. 环形凡尔的計算	285
§ 68. 泵的效率	286
§ 69. 直接作用蒸汽泵	288
§ 70. 石油矿場上采用的活塞泵	292
第八章 旋轉泵	304
§ 71. 旋轉泵的工作原理	304
§ 72. 單軸泵	305
§ 73. 多軸泵	310
第九章 壓縮机	316
§ 74. 緒論	316
§ 75. 發生于增压机內的几种主要过程	316
§ 76. 繪圖	326

§ 77. 以 T—S 座标表示的几种主要过程	330
第十章 活塞压缩机	333
§ 78. 緒論	333
§ 79. 压缩机的功与生产率	334
§ 80. 压缩机的实际示功圖, 效率及所需的功率	339
§ 81. 多級压缩	342
§ 82. 压缩机的配气机构	347
§ 83. 冷却	350
§ 84. 压缩机的調节	358
§ 85. 压缩机的潤滑	358
§ 86. 在苏联石油开采工业中常采用的活塞压缩机的几种 类型	361
第十一章 旋轉增压机与离心增压机	373
§ 87. 旋轉压缩机的作用原理	373
§ 88. 离心增压机的一般定义与分类	382
§ 89. 通風机	384
§ 90. 渦輪压缩机	385
第十二章 压气站	390
§ 91. 压气站的分类	390
§ 92. 压气站的厂房	391
§ 93. 基礎	391
§ 94. 矿場压气站的管架	394
§ 95. 压气站的通風	396
§ 96. 压气站的供水	397

第一章 井架与輕便井架

§ 1. 井架的用途

在鑽井工作与試油工作结束后，通常將鑽井井架拆掉或搬到新的工作地点，而在生产井上根据油井的深度架設較輕的井架或輕便井架。

采油井架的功用与鑽井时用的井架一样，也是用来懸掛滑車系統的，以便在井下修理时进行起下作業或进行其他各种改变下入井內的油管或抽油桿長度的作業。

有时，在采油开始后的最初一个时期，由于油井上沒有采油井架，仍把鑽井井架保留不拆。

从經濟观点出發，在鑽井結束以后，應該以采油井架替換鑽井井架。除了普通的四腿采油井架以外，尚采用用廢管子制成的三腿采油井架。这种井架的大腿是用6"的鑽桿制成的，橫拉筋及斜拉筋是用2—2½"管子制成的。

在淺井上常常不安裝上述采油井架，而是根据所需要的起重量架設不同結構的輕便井架。

表1列出了在苏联矿場上常用的几种固定式采油井架与輕便井架的主要技术規格。

采油时，除了采用固定式輕便井架以外，同时也采用活动式輕便井架。

采用活动式輕便井架是适宜的，因为它们不过只是井上起重設備的一部分，并且离开了絞車通常便不能被利用。所以把輕便井架与可移动的通井机裝在一起(該通井机可以拖曳或搬運輕便井架)，應該承認是正确的。目前，在苏联各石油矿場上，已經有好几种这种設備；它們的構造在下面將加以討論。

从前井架是用旧管子制造的，而目前則用鋼材制造。采油井架与鑽井井架一样，也是架設在用混凝土澆灌的基礎上，但在淺井上有时則架設在用木材作成的基礎上。井架大腿和橫拉筋用 4" 的油管或角鉄制成，斜拉筋則根据井架結構的不同或用細圓鋼(抽油桿)制成，或用管子制成。

表 1

井架或輕便井架的名称	起重 量 吨	高 度 公尺	頂面及底面尺寸		重 量 吨
			底面 尺寸 公尺	頂面 尺寸 公尺	
管式井架	100	22	5×5	1.5×1.5	5
阿塞拜疆石油設計托拉斯井架	100	22	8×8	2×2	4
BM 1-24 型井架	—	24	8×8	2×2	5
五一厂和阿塞拜疆石油設計托拉斯井架	60	22	7×7	2×2	5
BST-75-24 型井架	75	24	8×8	2×2	12.1
B3M-24 型井架	80	24	8×8	2×2	—
“三腿”井架	40	24	5×5	2	—
列宁石油托拉斯設計的橫桁式輕便井架	25	13	1.90	0.70	—
同上，但为 5" 的	19	13	1.90	0.70	—
斯大林石油托拉斯設計的橫桁式輕便井架	15	16	2.0	0.8	—
V-T 橫桁式輕便井架	40	20	3.25	0.7	—

附註 輕便井架的“頂面及底面尺寸”一欄中，是大腿軸縫間的距離。

圖 1 与圖 2 是兩種結構不同的采油井架。

旧式井架的底面是 5×5 公尺。新式井架的底面都是 8×8 公尺；这样就可以不必在采油井架下面再打新的基礎，因为在換井架的时候，新井架可以安裝在鑽井井架的基礎上。

在井架的上部架設天車橫梁，而在天車橫梁上固定天車。出產井的天車都是制成五滑輪的，諸滑輪或在同一軸上，或在各自單獨的軸上。在穿鋼絲繩时，鋼繩的死端可以固定在井架的框架梁木上，或固定在游动滑車的耳環上。

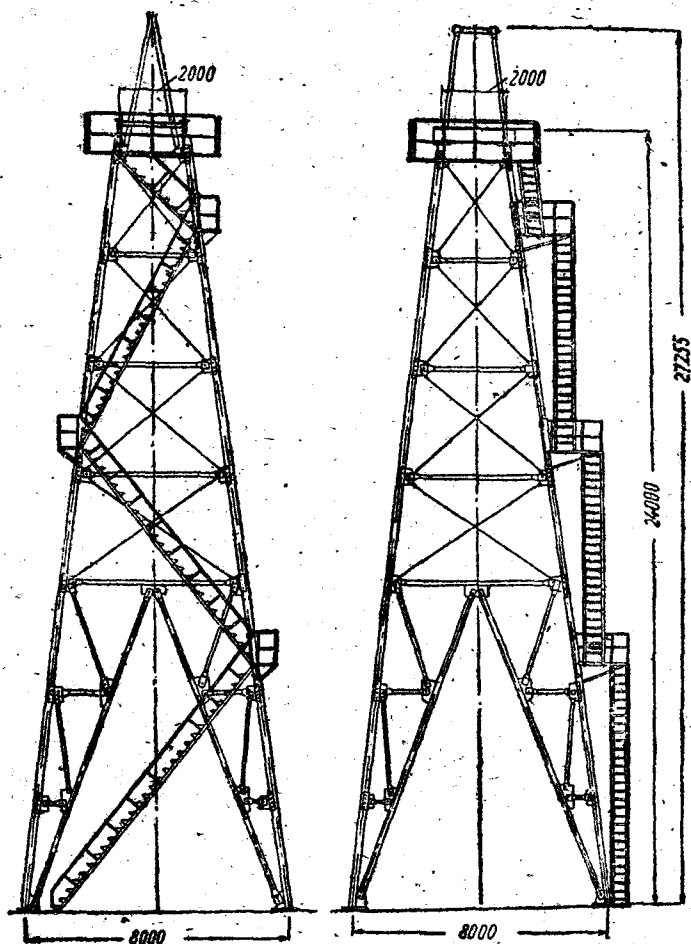


圖 1 用管子制造的采油井架

淺井井架的上部架設有梁木，在梁木上安裝天車滑輪的軸承；根據預定的載荷可以裝 1 個到 3 個滑輪。

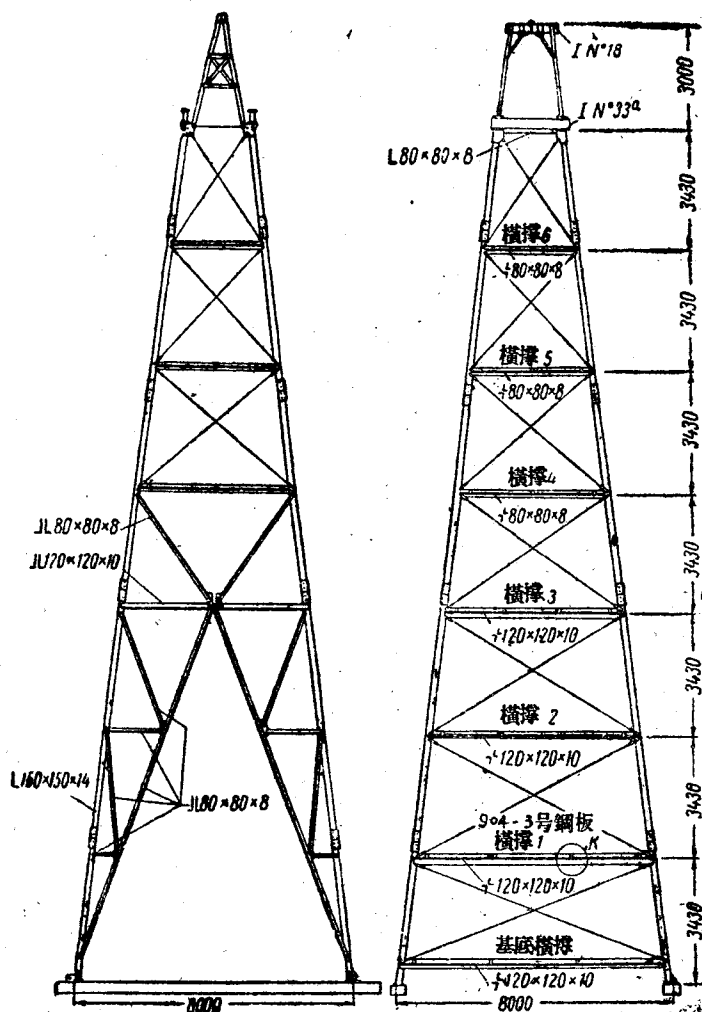


圖 2 用型鋼製造的采油井架

§ 2. 作用于井架上的力

架設于井上的采油井架，承受着各種使井架各構件產生應力的力。計算井架強度與穩定性的目的，就是要求出作用於井

架上的載荷，分析這些載荷，同時確定這些載荷的最不利的組合，然後檢驗該結構中各構件內所發生的應力及整個結構的穩定性。

作用於井架上的力，依其方向的不同，可分為垂直力及水平力。屬於垂直力的有：大鉤載荷、井架本身重量和滑車系統部分的重量，以及滑車系統鋼絲繩的拉力。采油井架與鑽井井架不同的地方，是鑽井井架在整個直接鑽井的期間內都被利用，而采油井架則只在進行起下作業及進行大修時才承擔載荷。

作用於井架上的垂直計算載荷，可用下式表示出：

$$Q = P_K + P_T + P_1 + P_0,$$

式中 P_K ——大鉤載荷；

P_T ——滑車系統的重量；

P_1 ——鋼絲繩工作端的拉力；

P_0 ——當鋼絲繩固定於井架的框架梁木上時，該鋼絲繩死端的拉力。

大鉤載荷可用須從油井內起出的管柱的最大重量求得：

$$P_K = qH,$$

式中 q ——管柱每公尺的重量；

H ——管柱的長度。

在生產井的各種條件下，提昇管柱的最大載荷常常發生於需要將油管連同抽油桿甚至帶着砂子一起進行提昇的時候。應當注意，在這種情況下管柱本身可能被砂子卡住。

所以大鉤的最大載荷不可能根據油井的資料準確地確定出來。

在一定類型的通井機及滑車系統的一定繞法的條件下，可以得到鋼絲繩的最大拉力，而根據鋼絲繩的最大拉力可以很容易地求出大鉤的最大計算載荷。

目前, 当使用功率最大的裝有 ЛТ 2М 型絞車的 С-80 型通井机时, 如滑車的繞法为 5×4 , 可以得到的大鉤最大載荷为 $P_K = 60$ 吨。

这种計算最大載荷的方法不能認為是十分有根据的, 因为滑車系統的滑輪数目是可以自由选择的, 当需要获得相当大的大鉤載荷时, 可以增加滑輪数目。可根据能够下入生产井內的最大直徑管柱的允許載荷, 可对所算得的大鉤最大載荷进行檢驗:

$$P_K = \sigma_z f_0,$$

式中 σ_z ——最大允許应力;

f_0 ——管扣的第一螺紋綫处金屬的断面面积。

如果取管子最大直徑为 4'', 并設金屬的比例極限为 允許应力, 則管壁最厚的 П 牌号油管的載荷約为 80 吨。

生产井滑車系統的重量, 可設为 $P_T = 4.8$ 吨, 即起重量为 75 吨的滑車系統的最大重量。

在提昇时, 鋼絲繩活端的拉力根据下式决定:

$$P_1 = \frac{P_K \beta^{2n} (\beta - 1)}{\beta^{2n} - 1},$$

式中 n ——游动滑車的滑輪数目;

$\beta = 1/\eta$ ——滑輪效率的倒数, 或鋼絲繩在滑輪前后拉力之比;

通常取該系数为 $\beta = 1.04$ 。

不同滑輪个数 n 的 β^{2n} 值如下:

n	1	2	3	4	5
β^{2n}	1.08	1.167	1.266	1.362	1.48

鋼絲繩死端的拉力:

$$P_0 = \frac{P_1}{\beta_1^n \beta_M},$$

式中 β_M ——死滑輪的阻力系数。

可以近似認為：

$$P_1 + P_0 = \frac{P_K}{n}.$$

由于風力作用于井架各構件上和固定在井架頂部的天車上，产生了采油井架的水平載荷。

風載荷由建筑物在垂直風向平面上的投影面积 F 、風的比压 q_B 、环流系数 k 及动力系数 β 的乘积决定：

$$P_B = k\beta F q_B.$$

比压 q_B 或叫風的速度头，根据下式决定：

$$q_B = \frac{\rho v^2}{2},$$

式中 ρ ——空气的密度；

v ——風的速度。

按技术度量衡制， $\rho = 0.125$ 公斤秒²/公尺⁴，因之，

$$q_B = \frac{v^2}{16} [\text{公斤/公尺}^2];$$

風的速度随着距离地面的高度而增加，从而風的比压也增加。根据 ГОСТ 1664-42，一般認為下層（即由 0 到 20 公尺）的風速是固定的，所以当計算 20 公尺以下的建筑物的風載荷时，不考慮該建筑物的高度。如果建筑物的高度在 100 公尺以下，則隨高度的增加來考慮風載荷的增加。

風的比压的大小依風力而定。根据 ГОСТ 1664-42，將苏联的領土按各地風力分为三个区，此三区的 $q_{B,20}$ （高度为 20 公尺时的压力）及 $q_{B,100}$ （高度为 100 公尺时的压力）的值列于下表。

区 域	q_{B20} 公斤/公尺 ²	q_{B100} 公斤/公尺 ²
(Ⅱ)区和(Ⅲ)区以外的全部苏联領土	40	100
除(Ⅲ)区以外的沿海一帶	70	150
諾沃西斯克城的黑海沿岸	100	200

在由 20 到 100 公尺的高度变化範圍內，設風的速度头 按直綫变化。

环流系数 k 依被环流的物体的形状而定，同时也依被环流的物体与風向的相对位置而定。当風环流桁架时，可取系数 k 如下：如为矩形断面及复杂形状断面， $k=1.4$ ，如为圆形断面， $k=1$ 。在这些情况下設桁架与風向垂直。

因为井架是一个空間的桿系，故当風流經過井架的前格架时，風流同时也給井架的后扇一个压力，并且这个压力是應該考虑的。

井架前扇的各構件給風流一个阻力，因此風在穿过了前格架后，速度就降低了一些，于是風以一个較小的力作用于井架的后扇。此时，風力作用的强度依格架面积的充滿程度而定，也就是依各桿的总面积与格架面积之比而定。对于具体的金屬采油井架来講，應該認為：井架后扇的压力为井架前扇压力的 80%。

动力系数 β 是考虑塔型建筑物由振动(搖摆)而产生的附加載荷。此系数依該建筑物的自然振动週期 T 而定；如 $T \leq 0.5$ 秒，动力影响可以不考虑，亦即 $\beta=1$ ；随着週期的增加此系数也增加，一直达到最大 $\beta=2$ 。建議 ① 取金屬鑽井井架的动

① 見Я.Л. 依力亞塞夫斯基与Г.Н. 伯尔日耶茨合著的“石油井架”，苏联国立石油燃料科技書籍出版社1949年版。

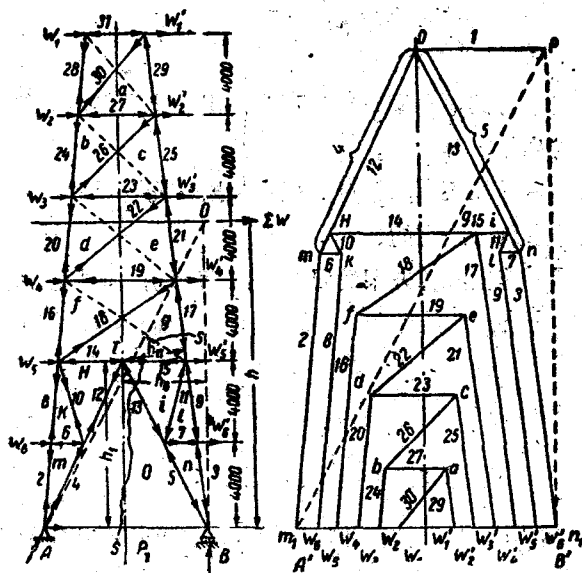


圖 3 作用于井架的風力示意圖及克列蒙那的圖解法

力系数 $\beta=2$ 。

我們所討論的采油井架既受最大風載荷同时又受最大垂直載荷的机会，是很少的。所以采油井架的自然振動週期將小于 0.5 秒，而在这种情况下动力系数可以取 $\beta=1$ 。

从結構上看来，井架本身是一个由許多單獨層組成的桿系，故应使分佈于格架內各桿全長上的風压水平載荷作用于各層的节点上(圖 3)，即各桿相互会合的各点上。

每層的环流面积(見圖 1)由下式决定：

$$F_i = 2(hD_H + ld) + bD_H,$$

式中 h ——每層的高度；

D_H ——大腿的直徑；

l ——斜拉筋的長度；

d ——斜拉筋的直徑；

b ——橫拉筋的長度；

D_n ——橫拉筋的直徑。

当格架为其他类型时，也不难列出一个类似的計算环流面积公式也是很容易的。

天車橫梁及天車的环流面积是根据它們的尺寸，同时并考虑它們的形狀而决定的。

为了要簡化計算井架的風載荷，可以用近似方法进行計算，取整个塔的环流面积 F 等于該塔外廓面积 f_0 的一部分：

$$F = m f_0.$$

在这种情况下面积的充滿系数一般都取为 $m=0.3$ 。

§ 3. 井架的水平載荷計算

井架的計算归根結底是求格架各桿在載荷作用下所产生的力。

這個問題可用計算桁架所用的任意一种方法解决。

当桁架为靜定时，可用克列蒙那法或里傑尔法；如果桁架是靜不定的，也就是說，在解該問題时要求考虑桿的应变，則此时解决該問題就必須应用大家熟知的結構力学中的各种方法，例如：位移互等定理，馬克西威尔法等等。

現在讓我們以十字形格架的靜定井架的計算为例加以討論，用克列蒙那的圖解法来解决該問題。大家知道，克列蒙那圖解法就是順序地把桁架上的一切內力及外力画成一个力的多边形，其画法是把結構中作用于一点的諸力構成圖解中的封閉多边形。

圖 3 为 B3M-24 型高为 24 公尺的十字形井架示意圖。作用于井架上的風压力全加在井架的各个节点上。所討論的桿系是一个靜不定的系統，因为在該桿系中有大量不能根据靜力学进行計算的所謂“多余的桿”。可是在这种情况下，因为斜拉筋

是用細圓鋼桿制成的，而且這些桿在長度方向上有很小的縱向彎曲的穩定性，所以在計算該桿系時（即桁架），有充分的根據可以忽略被壓縮的斜拉筋的影響，而只考慮被拉伸的斜拉筋的影響。此外，為了計算簡便起見，我們令右支點為可動的。圖3為克列蒙那圖解法的画法。

我們從決定 A 和 B 兩支點的反作用力開始作圖。為此，我們須將所有作用於節點上的力，從頂部開始順序地照比例地加起來，用一條水平直綫表示之，然後我們計算這些水平力的合力距 AB 支點平面的距離 h ：

$$h = \frac{\sum W_i h_i}{\sum W_i},$$

式中 h_i ——任意一力距支點平面的距離。

先畫 BO 垂綫，然後畫 AO 斜綫，即可求得兩個支點的反作用力的方向。至於反作用力的大小，我們可用圖解法，亦即在力的多邊形中畫 $A'P$ 和 PB' 綫，使它們相應地平行 AO 和 BO ，即可求得。

從上層開始決定各桿內的力。在圖3中，我們用數字表示各桿，用字母表示格架的各三角形。現在我們就來討論最上面的一個三角形。

W_1 力作用於桿 31 上，壓縮該桿。在頂平面上還有一個作用於井架後扇的壓力 W'_1 。 $W_1 + W'_1$ 之和與 29—30 桿內之力構成封閉的力三角形，桿 28 實際上不承受載荷。

然後我們轉向三角形 b ，跟着再轉向三角形 c 等等，這樣一直繼續下去。當每轉到下一層時，我們都要把作用於該層的 W_i 和 W'_i 力計算進去。這樣一直進行到 T' 點，亦即集聚 12、13、14 和 15 等桿應力的點。

再要往下畫，就必須進行某些計算。在交點 T' 上集聚着四