

# 等代荷载

(計算城市和公路桥梁用)

H.M.米特曼波利斯基 著

全 肇 华 译

人民交通出版社

# 等代荷載

(計算城市和公路桥梁用)

人民交通出版社

## 內 容 提 要

本書用历史观点詳述等代荷載的意义，詳述标准荷載与等代荷載的关系，并制出一些应用的等代荷載表（如曲线形影响綫的汽-18 列車等代荷載表等），導出三角形影响綫換算成其他形影响綫用的換算公式，列出曲线形曲线三角形等影响綫的汽-10 列車及汽-18 的等代荷載，說明編制等代荷載表的方法及編制表时的原始資料等。

本書可供桥梁設計及施工技術人員使用。

## 等 代 荷 載

Док. техн. наук проф.  
Н. М. МИТРОПОЛЬСКИЙ

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ НАГРУЗКИ  
ДЛЯ РАСЧЕТА ГОРОДСКИХ  
И ШОССЕЙНЫХ МОСТОВ  
ПО НОРМАМ 1953 г.

(Н106—53)

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МИНИСТЕРСТВА КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РСФСР  
Москва—1957

本書根据俄罗斯苏維埃联邦社会主义共和国公用事业部出版社1957年

俄文版本譯出

全 雪 华 譯

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版业營業許可証出字第〇〇六号

新 华 書 店 发 行

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

1959年2月北京第一版 1959年2月北京第一次印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{4}$  印張：2 3/4張

全書：46000字 印數：1—2000册

統一書号：15044·1381

定价(10)：0.30元

# 目 录

前 言	2
第一章 等代荷载计算理论的发展	4
§ 1. 等代荷载计算的成因	4
§ 2. 城市和公路桥梁计算荷载标准及等代荷载	9
§ 3. 等代荷载是标准的基础	17
§ 4. 结论	24
第二章 1953年标准的等代荷载	27
§ 5. 三角形影响綫的等代荷载	27
§ 6. 凸曲綫形影响綫的汽-18 列車等代荷载	30
§ 7. 曲綫三角形影响綫的汽-18 列車等代荷载	36
§ 8. 三角形影响綫換算成其它形影响綫的汽-18 列車等代荷载公式	40
§ 9. 曲綫形影响綫的汽-10 列車等代荷载及三角形影响綫換算成其它形影响綫的公式	47
§ 10. 几个同号綫段的影响綫的加荷载	51
§ 11. 共軛影响綫的同时加荷载	55
§ 12. 1953年标准的輪式荷载和履帶式荷载的等代荷载	56

## 前 言

按等代荷載計算桥梁的方法最为合理。在現行“城市桥梁规范”及“公路桥梁設計規程”中，列有：1)本書作者在当时算出的汽-10列車等代荷載表，它适于三角形影响綫、曲綫形影响綫和无鉸拱的計算；2)三角形影响綫換算成其它任意形影响綫的公式。

但在城市和公路桥梁（采用汽-18荷載）所用的1953年新标准中，只列有三角形影响綫的等代荷載，这就大大限制采用等代荷載的可能。补充这一空白，是本書主要任务之一。

作者編制了曲綫形影响綫的汽-18列車等代荷載表，导出了三角形影响綫換算成其它形影响綫的公式。同时制訂了新标准中所列拖-80、拖-60和拖-30荷載的相应公式。

为了采用等代荷載，光有現成的表格和确定的公式还不够，尚須了解編制表格的方法和編制表格用的原始資料；同时也应有說明公式結果精確程度的結論。所有这些問題都在本書中加以研究。

为了更广泛地推广按等代荷載計算桥梁的方法，須研究标准荷載的實質及标准荷載与等代荷載的关系，以此消除对按等代荷載計算是否精確的一些怀疑。

有时認为集中荷載組成的列車是規定的荷載，而等代荷載看作是只作簡化計算用的一些不完全有价值的代替物。实际上这种观点是誤解。等代荷載實質上是标准的基础，而計算列車只是各种实际列車等代荷載叠合曲綫的实物描繪。

本書第一章查明這一問題，用歷史觀點闡明標準的本質和等代荷載的意義。

按作者的用意，本書不僅應提供實際使用的表格和公式，而且也是研究和採用等代荷載的系統指導。

在編制表格過程中，作者不得不進行大量計算。這些計算儘可能都作了驗算；表格的對照和按公式計算的等代荷載同樣進行了驗算。

# 第一章 等代荷載計算理論的發展

## § 1. 等代荷載計算的成因

等代荷載的概念和目前的使用，與使用影響綫有關。

的確，等代荷載值依據影響綫荷載段的形狀和長度決定；未知內力由影響綫面積乘等代荷載決定。但等代荷載的概念和使用，要比影響綫的發明早得多，後來看出，影響綫的出現相反地暫時影響了等代荷載的使用。

使用等代荷載的思想首次在上世紀五十年代計算鐵路橋梁時產生。

從前的城市和公路橋梁以均布人群荷載計算，這種荷載比任何車輛荷載要大。

隨著鐵路橋梁的出現，情況就變了：計算荷載是集中荷載體系了。

但在當時建築力學發展的水平下，以集中荷載體系計算很為困難。在作為材料力學主要指南的納弗埃應用力學教程中（1839年），研究的只是均布荷載的計算情況或一個集中荷載作用的計算情況。

奠定桁架理論基礎的Д.И. 茹拉夫斯基，在他“論活鳥桁構橋梁”（1850年）著作中，敘述了這種桁架以均布荷載計算的方法。

為連續梁計算創造基礎的克拉彼依隆，在1857年著作了只適於均布荷載的“三矩方程式”。

这样一来，为了实际计算，便迫切需要以一些均布荷载代替集中荷载体系的作用。当时还没有必须遵照的计算荷载标准，但在一些印刷的指南中，列有荷载的一些规定。在法国第一本马利诺和帕朗耶合著的钢桥教程中（“钢桥理论和实际教程”1857年），列有下列规定：跨径4~10米的梁可采用一个位于跨径中点重16吨的荷载来计算，这就等于采用8吨/1延米的均布荷载（跨径4米的梁用）。跨径10~12米的梁可采用一个荷载：中间为15吨，两边各13吨。因此，马利诺和帕朗耶建议采用荷载密度为8~4吨/米的均布荷载来计算跨径4~60米的梁。

在俄国第一本桥梁教程中（П. 烏沙夫著“建筑艺术”，第二篇第一章桥梁结构，1862年），列有引证马利诺和帕朗耶教程的这些荷载。

在列斯利和舒布列拉合著的“铁桥桁架计算”一书（1870年译成俄文）中，登载了为泽曼林克铁路机车算出的等代荷载表，作为指导。这些等代荷载适于跨径中点弯曲力矩，用来计算任何构件。

在1866年出版的库列麦著“图解静力学”一书中，规定了推求任何集中荷载体系产生的最大弯曲力矩的图解法。力矩图用图解法绘制成多边形。按照这一多边形选择面积等大的抛物线，就可求得相应的均布荷载。

1875年，韦克列尔在他的桥梁教程中首次查明，计算弯曲力矩和剪力的等代荷载应各不相同。他采用39吨三轴机车、27吨煤水车和每节16吨车厢成的计算列车，用图解法或分析法求得这种荷载体系产生的最大弯曲力矩和剪力以及相应的等代荷载，同时也建议按公式推求。例如，韦克列尔导出了适于10~50米跨径的下列公式：



弯曲力矩

$$P_1 = 4.14 + \frac{23}{l}$$

剪力

$$P_2 = 4.40 + \frac{34}{l}$$

在七十年代中，各国都有了必须遵照的计算荷载标准。在所有这些标准中，计算荷载为均布荷载。1875年我们为铁路桥梁规定了最初的计算荷载标准。

计算荷载编制成荷载密度为12~2.62吨/米的均布荷载表，分别适于2~150米跨径。计算列车未示明，但按文献中的现有资料看来<sup>①</sup>，可以查明，这些荷载是等代荷载，采用的列车是36吨三轴机车、24吨三轴煤水车和节16吨两轴车。

因此，按等代荷载计算已具有法律根据，并且这些荷载值对于推求所有内力都是相同的。

从上世纪八十年代起，等代荷载开始失去其主导意义，在实践中采用列车集中轴压计算。

正是在这个时间内，影响线理论得到了发展。最初的影响线由莫尔和韦克列尔先后提出。

韦克列尔在他1867年出版的（“材料弹性与强度学”）一书中，导出了固定梁在集中荷载作用时的力矩和支点反力公式，并用图说明了这些公式，即实际上绘制了影响线。

莫尔在他1868年写的（“钢木结构理论”）一文中，对用图解法推求一个集中荷载在连续梁内产生弯曲力矩和剪力的问

<sup>①</sup> 1926年“建筑工业”第2期E.O.巴东教授著“近百年内铁路桥梁的金属和荷载”。

題作出分析，得出了图表，即影响綫。他在章节开始部分作了如下說明：“研究任意截面內什么位置产生最大值（力矩或剪力），是很有意思的。如果在梁的任何一点加荷載，其余长度內不加荷載，而对产生的力矩和剪力可用图解法描繪的話，那末所有的有关問題都可迎刃而解，因为任何荷載都是由单位荷載組成”。影响綫計算的原則方面就在于此。

在1868年，韦克列尔在他“拱桥計算”通报中，繪制了影响綫，当时他称为“內力曲綫”。

在1873年，維拉烏赫采用“感应綫”（影响綫）的名称。

正如上面所述，最初的影响綫由莫尔和韦克列尔繪制，适于超靜定体系。在1876年，弗連盖列闡明了影响綫的全部理論，并将影响綫应用于靜定梁。

此后，特别是由于繆列拉-布列斯拉烏著“图解靜力学”一書問世（初版在1881年出版），按影响綫計算得到广泛的推广，从此，按影响綫計算便列入教程；推求荷載的最不利位置（“列車滾动”）成为学生練習的有趣算題。

影响綫用最好的方法解决了集中荷載体系产生的內力計算問題。于是对这方法有些迷恋，当然按等代荷載計算便开始成为不精确和过时了。

根据这点，新标准規定了荷載为計算列車形式，而不是均布荷載形式。

俄国在1884年制定了計算荷載的新标准。在新标准中，計算列車由三部軸压力各为12.5吨的四軸機車、32吨三軸煤水車和各节16.38吨兩軸車組成。

在1896年，Л.Д.普洛斯庫略科夫教授在設計耶尼澤桥时，首次在实践中应用了影响綫計算。

此后，按集中荷載和影响綫計算完全在桥梁設計的实践中

固定了。

为了简化静定体系内力的计算，按影响线编制了标准列车静力矩辅助表，这表由Л.Д. 普洛斯庫略科夫教授首次在耶尼淨桥的计算中算出并采用。

以后所有铁路桥荷载标准(1896、1907、1921~1925年)，都将计算荷载规定成标准列车形式。

但按等代荷载计算有时仍有采用。在手册和教材中，除了静力矩表外，还登载有标准列车产生的等代荷载表，它适于跨径中点和支点的力矩，适于简支梁的剪力(见E.O.巴东教授编著的有几个版本的表格)。

Л.Ф.尼哥拉依教授在他1901年出版的桥梁教程中指出：

“推求大跨径桁架弦杆和填充构件的内力，在桥梁受连续荷载作用时，力矩和剪力的计算可大大简化。根据这点，列车作用有时用与之等值的连续均布荷载来代替”。其次，说明了不用影响线推求等代荷载的方法，列出了简支梁的力矩和剪力表及推求等代荷载的公式。

在连续梁方面没有连续梁用的等代荷载，因此，必须直接按各个集中荷载计算内力，例如利用影响线来计算。教程中证明，在奥地利，连续梁和桁架是利用简支梁跨径中点力矩的等代荷载来计算的。

拱形桁架由于没有等代荷载可用，同样建议按集中荷载和影响线计算内力。但为了一般参考起见，同时也列出了拱形桁架等代荷载用的恩格谢尔表、克隆表及韦克列尔公式。根据克隆表指出，拱形桁架可用简支梁剪力的等代荷载来计算。

必须指出，该教程中所列简支梁等代荷载表由交通部国道管理局编制，即具有半官方性质，因此按等代荷载计算就被正式承认了。

在二十年代中，对按等代荷载计算的方法日益被人们关心了。

在1921, 1923和1925年标准中，車輛荷载不是规定成集中荷载行列形式，如过去的标准那样，而是规定成为均布荷载形式。

同时，在1923年，为1921年标准中的列车制定了等代荷载表，这表不仅适于三角形影响线，而且也适于抛物线形影响线（1923年第2期“工程研究社文集”）。

这样，根据影响线理论，按等代荷载计算得到大大改善。

在1930年铁路荷载标准中，除了计算列车外，同样列有三角形影响线的等代荷载表；因此，等代荷载与标准列车一样具有法律根据。

## §2. 城市和公路桥梁计算荷载标准及等代荷载

公路桥梁计算荷载标准只是在上世纪末叶才出现。在这个时间以前，桥梁以每一个别情况下规定的荷载或个别作者建议的荷载来计算。

在上述П. 烏沙夫著的俄国第一本桥梁教程中（1862年）指出：“在建造公路桥梁时，假定最大荷载由半呎厚的密实久置的雪层和挨紧聚集的人群所产生。这种荷载在每平方沙繩<sup>①</sup>上为96普特<sup>②</sup>，或每平方呎桥面上约2普特”。

在彼得堡恩洛列特交通工程学院（1868年）教授讲课的教程中，也有这种荷载，但还作了补充：“横梁和桥面板木板应采用满载货车的轮压计算，这种轮压很少达到75普特或100普特”。

① 沙繩为俄长度单位，等于2.13米——譯者。

② 普特为俄重量单位，等于16.33公斤——譯者。

而公路路面应采用液压公路的压路滚荷载来计算”。

在制定正式计算荷载标准以前，就有了试验荷载标准。这种荷载标准规定作试验各座桥梁用，在与建造桥梁的包工签订的合同中有规定。

例如，在1853年由文奥列建造的基也辅链索桥，在合同中规定，桥梁应以1 $\frac{1}{2}$ 普特/平方呎的连续荷载试验，用沙层加荷的方法进行(П. 烏沙夫著“建筑艺术”第2篇第1章第264页)。1851~1853年建造的奥斯特洛夫链索桥用这种荷载作了试验。但这些桥梁除了用均布恒载试验外，还用活载试验。“在每座桥梁上，同时驶入两个三马所驾的100普特重的铸铁压路滚，三辆四马所驾的各重200普特的运石车；这种列车总重为1370普特。压路滚和运石车通过桥梁数次，首先慢步通过，然后快步通过，最后以每小时15俄里<sup>①</sup>的速度通过”。

在这个例子中可以看出，除了连续荷载外，也开始采用集中活荷载来试验。

试验荷载标准当然就成了计算荷载标准。的确，如果桥梁用某种荷载试验，那末在设计时必须以这种荷载来计算。

显然，1891年公路部门制定的标准，是最初的公路荷载标准(H. Ф. 奇阿曼迪迪著“地方钢筋混凝土桥”，1909年)。

这种标准规定，荷载为八马所驾的重500普特(8.2吨)的重型辎重车(图1)，或重300普特的轻型辎重车和440公斤/平方米(2.5普特/平方呎)的人群荷载。1906年标准实质上是这种标准略加修改后的翻版。

交通部1906年标准为公路桥梁计算规定了三种荷载：

1) 8马所驾的重8.2吨(500普特)的中型辎重车——钢桥

<sup>①</sup> 1俄里等于1.067公里——译者

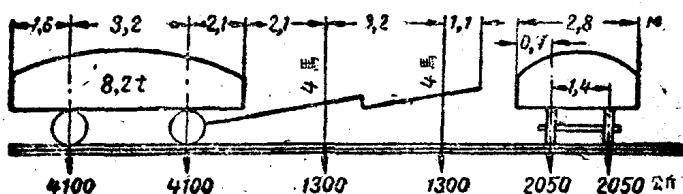


图 1

- 用，重 5 吨（300 普特）的輕型輜重車——木桥用；
- 2) 重 530 公斤/平方米（3 普特/平方呎）的人群荷載——計算人行道和車行道用，重 440 公斤/平方米（2.5 普特/平方呎）的人群荷載——計算主桁架用；
- 3) 重 15 吨的蒸汽压路机。

为計算主桁架規定了下列規則。  
 在跨径小于 20 米时，研究三种荷載組合：

- 1) 人行道和車行道受人群荷載（440 公斤/平方米）；
- 2) 車行道受一行列或二行列輜重車的荷載（中型輜重車——鋼桥用，輕型輜重車——木桥用），而輜重車側面的空余地方和人行道受人群荷載（440 公斤/平方米）；
- 3) 車行道只安置压路机（无人群），而人行道受人群荷載（440 公斤/平方米）。

由这些組合中取最不利的。

在跨径大于 20 米时，車行道和人行道受人群荷載（440 公斤/平方米）。

显然，在按这种荷載計算时，利用等代荷載的合理性便减少了，因为在跨径大于 20 米时，計算荷載是均布人群荷載，而在跨径小于 20 米时，順跨径集中力的最大数目是 4 个；这一荷載数目的影响綫縱座标很易求出。

虽然如此，这种荷載也采用等代荷載形式。例如，在  $\Pi. \Phi.$

尼古拉依教程中，有各种重量的轆重車的等代荷載公式。軸壓力為 5 噸的轆重車在 1 平方米橋面上的等代荷載（公斤）可按公式求得：

$$k = 440 + \frac{2000}{l}$$

1906年荷載標準在1922年廢除，此時首次應用了汽車荷載。在這標準內，為公路橋梁規定了三種等級的荷載。在每一等級內，又規定了三種荷載：

1) 兩行列重10噸的載重汽車—第一級用（圖2）；兩行列重7噸的載重汽車—第二級用，兩行重4噸的載重汽車—第三級用；

2) 荷載密度為400公斤/平方米的人群；

3) 重15噸的蒸汽壓路機—第一級用，重9噸的蒸汽壓路機—第二級用，重3噸的馬拉壓路機—第三級用。

在每一行列（列車）中，三輛載重汽車相隣軸間之距離為3.2米，而以下各輛載重汽車軸間之間隔為20米。

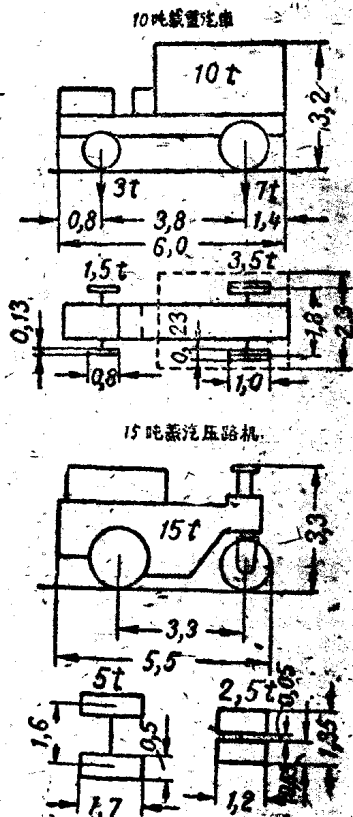


圖 2

在工程研究社的新標準出版後不久，編制了按新標準計算

用的輔助表格。

产生了汽車列車靜力矩表,三角形影响綫,跨径中点弯曲力矩、跨径支点弯曲力矩和剪力的等代荷載表,汽車列車慣性力矩表,按抛物綫形影响綫計算的等代荷載和等代集中荷載表。

因此,編者規定了按影响綫計算的两种方法:

- 1) 直接用集中荷載計算(按靜力矩表和慣性力矩表);
- 2) 按等代荷載計算。

还为抛物綫形影响綫規定了第三种可能的計算方法—利用等代集中荷載。此时,由等代集中荷載值乘以影响綫最大縱座标便得未知內力。

现在研究抛物綫形影响綫的等代荷載。这种为对称的二次抛物綫算出的荷載,建議作所有对称的和不对称的凸形曲綫使用。

一般的曲綫形影响綫是不对称的,是高次的抛物綫。对称的抛物綫的等代荷載是否符合实际曲綫形影响綫的等代荷載这一問題,未加研究,因此,采用了这一基本方針来推求等代荷載不需特別精确。

这一方針是有根据的。虽然計算荷載也决定于实际荷載,但特别是在公路上,計算荷載与各种实际荷載的符合程度和安全系数很难精确地确定,并且在各种情况下都不相同。因此,推算标准內計算荷載产生的等代荷載和相应的內力时,总精确度不会超过实际荷載的精确度,因为决定計算荷載的原始假定依旧存在。

曲綫三角形影响綫的等代荷載未作計算。为此,建議按等代集中荷載計算。把曲綫三角形影响綫看作是三角形和抛物綫之差(图3)。



內力按公式計算：

$$S = k_m \omega_m - P_0 y$$

式內： $k_m$ ——三角形的等代  
荷載；

$\omega_m$ ——三角形面積；

$P_0$ ——拋物綫形影響  
綫的等代集中荷載；

$y$ ——拋物綫的最大縱座標。

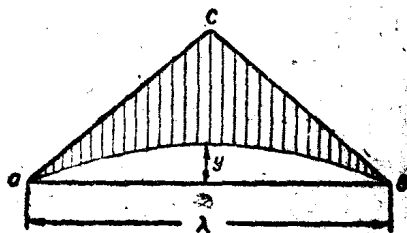


图 - 3

这种方法不太方便，因为实际上总是只有曲线三角形面积，而直线三角形和相应的抛物线必须计算。例如，在最简单的情况下推求连续梁截面的力矩，必须绘制简支梁力矩影响线和支点力矩影响线总和，再由三角形影响线中扣除。因此所述的方法在实践中未能通用，可以认为曲线三角形的等代荷载问题没有得到解决。

在研究的表格中，在使用表格的规定中，同样没有提出和解决下列两个问题：影响线由两个相邻的支点力矩影响线型曲线段组成时的加荷载问题，两个共轭影响线段（例如拱截面的力矩和纵向力）同时加荷载问题。

因此，研究的表格只能说在使用等代荷载计算的道路上前进一步，但离解决这问题特别是超静定体系问题还很远。

在1927年，对1922年标准作了修改。规定了7级荷载，并增补级外的特重荷载，加入特重车行驶用的0级荷载。对于行车繁密的公路，规定用I级和II级荷载。

我们先以I级荷载作为示例，然后研究各级荷载共用的载重汽车排列规则。

I级荷载规定为10吨重的主载重汽车。轴间重量的分配、轴距和轴距仍旧是过去的1922年标准。只是车体平面尺寸有所