

199120

基本館藏

極限平衡法的 結構承載能力的計算

A. A. 格 伏 斯 捷 夫 著



建 筑 工 程 出 版 社

724

56
5/4724

199120

极限平衡法的 结构承载能力的计算

袁文伯译

建筑工程出版社出版

•1958•

內容提要 本書敘述建筑力学中的极限平衡法的原理、金屬的塑性理論、磚石和混凝土的塑性理論、鋼和鋼筋混凝土杆系及鋼筋混凝土板的承載能力的計算。

本書供工程師、設計人員、科学研究人員和研究生閱讀。

原本說明

書 名 РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
КОНСТРУКЦИИ ПО МЕТОДУ
ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ

著 者 А.А.Гвоздев

出版者 Государственное издательство
строительной литературы

出版地点 及 年 份 Москва—1949

极限平衡法的
結構承載能力的計算
袁文伯 譯

*

建筑工程出版社出版（北京市東原門外大街）

（北京市書刊出版業營業許可証出字第052号）

建筑工程出版社印刷厂印刷·新华書店发行

書号784 262千字 850×1168 1/32 印張97/8

1958年7月第1版 1958年7月第1次印刷

印數：1—3,045册 定價（10）1.80元

目 录

前 言	5
緒 論	6
第一章 从建筑力学的历史說起	11
一、在建筑力学的創立以前	11
二、从伽利略到庫倫	12
三、庫倫和巴烏克尔	16
四、福里哀問題	33
五、納維和按照容許应力的計算	36
第二章 材料的塑性和塑性理論	40
一、連續質体力学的概述	40
(一)应力理論	40
(二)微小变形	50
(三)虎克定律和各向同性的彈性体的位能表达式	55
(四)三度空間中的張量的几何概念	56
二、金屬塑性理論基础的建立。最大剪应力的条件	60
三、塑流条件的实验验证。极限应力集度条件	66
四、理想塑性体理論的应用例題。这个理論的缺点	72
五、彈性变形的影响(彈性-塑性体)。塑流位	81
六、塑性理論的进一步精密研究	100
(一)强化現象	100
(二)粘滯性	102
第三章 鋼杆件的彈性-塑性工作阶段	105
一、引言	105
二、对称截面梁的弯曲	105
三、带有縱向力的弯曲。弯曲的一般情况	120
四、受压杆件在压屈时的性状	121
五、在彈性-塑性阶段的超靜定杆件体系的計算法	129

第四章 混凝土、石料和砌体的变形和强度	148
一、概述	148
二、莫尔的强度理論	152
三、石料和混凝土的各向受压試驗	154
四、几个結論	168
第五章 混凝土构件的强度計算	176
一、間題的現狀	176
二、受压构件	177
三、受弯构件	179
四、偏心受压构件和偏心受拉构件	187
五、公式汇集	192
第六章 极限平衡法	197
一、結構承載能力的界綫	197
二、在极限平衡法中的变形	199
三、体系中的元件	201
四、脆性和非脆性元件。极限平衡法	
对于靜定体系和超靜定体系的应用条件	205
五、塑性元件和假塑性元件	208
六、找寻超靜定体系的承載能力的外界綫	224
七、超靜定結構的应力状态的稳定性	226
八、体系中的元件全部为塑性时体系的承載能力的內极限	214
九、按照极限平衡法計算結構的承載能力的另一种方式。	
具有塑性元件和假塑性元件的体系的某些特性	250
第七章 极限平衡法的某些应用	258
一、杆件截面的研究	258
二、杆件对于純扭轉的抗力	277
三、在頂端的諸作用力影响下的鋼管的极限状态	282
四、連續梁与平面剛架	288
五、十字交叉梁	297
六、在圓对称荷載下的圓形平板和环形平板的承載能力的	
計算	303
参考書籍	310

前 言

研究了我們的極端豐富的建築經驗和蘇聯科學研究院廣泛提出的實驗和理論研究的成果，在我們的技术方向上曾經得出這樣的結論：不应当按照劃一的容許應力來進行建築結構的計算，而應當根據極限狀態來計算。建立這種結構計算的新方法有可能更好地考慮到材料的特性和結構的使用條件。

結構的極限狀態之一，也常常就是最重要的極限狀態，是結構的承載能力的耗盡。許多種結構的承載能力可以簡單而可靠地用極限平衡法來進行計算。

雖然這個方法的原理早在一半世紀以前就曾經奠定了基礎，但是直到現在，特別是在蘇聯以外的國家，在實踐中幾乎還沒有應用過。其原因是極限平衡法的論證尚有不够清晰明確之處，引起了許多疑義和模糊。因此，對於極限平衡法重新加以研究和論證顯然是必要的。作為重新研究的根據就是塑性理論的各方面成就，特別是蘇聯學者的著作在這方面的推進作用，和在蘇聯所創立的按照破壞階段的鋼筋混凝土的計算理論。

在本書第一冊的最后一章中，說明了極限平衡法的某些應用。第二冊將完全致力於鋼筋混凝土結構的承載能力的計算研究。

著 者

緒 論

無論是設計的或者是現存的承重結構的計算都有這樣一個目的，就是要查明這些結構是否能夠正常使用。結構所應當驗算的作用是由其使用條件決定的，而對於所設計的結構來說，還要考慮其建造條件。正常使用的要求是和結構物的用途有關係。

結構的毛病可以表現在發生了某些意外的、危險的或者不能容許的狀態。舉例來說吧，工業建築物的振動可能會損害了在其中進行操作的精確性，也可能會很壞地反映在工人的感觀上和勞動生產率上。裂縫，即使還沒有損害結構的強度，却可能毀損結構的外形或者破壞它的不滲透性。很容易舉出許許多多具有各種毛病的例子。最嚴重的毛病可以說就是結構的破壞。

以估計某一承重結構的意外的或不能容許的危險狀態為目的的結構計算，應當根據和這種狀態相適應的前提而建立起來。舉例來說吧，當結構處於完全彈性時，可能發生不能容許的振動。在這種情況下，當然應當考慮結構的彈性振動。某些結構在破壞之前要發生相當大的塑性變形，而這些變形又在本質上影響着發生破壞的條件。那末在這種情況下，就應當注意到材料的塑性性能。在一切情況下都採用同樣的計算方法（例如，永遠採用所規定的容許應力的彈性結構的計算），在應用於某些危險狀態時就會不可避免地顯得不很滿意，有時甚至是不適用的。

在本書中只研究比較狹窄的問題，就是關於結構承載能力的計算，而且就是這個問題也還有許多嚴格的限制，這些限制往後還要談到。在解答問題時，我們使用了極限平衡法，並且預先闡明這個方法的論證和應用條件。我們要指出，有許多問題用極限平衡法來解答，非常明了而簡單，而且得出同試驗很相符合的結果。因此

在实际应用中应当推荐采用极限平衡法；但决不是由此就可以得出最后的結論說，它可以一般地排挤了其它方法，要知道还有許多問題是不能用极限平衡法来解决的。

所謂結構的承載能力的耗盡，我們不僅把它理解成結構的破壞，而且也是指由於結構的嚴重下垂而發生很大的殘留變形。現在我們用一些例子來進行說明。

許多年以前，我們曾經試驗過新建房屋的牆壁中的磚砌過梁的強度，其中也有靠近屋角處的門窗孔上的過梁。在某一荷載下，在砌縫中發現初次裂縫，但此後還可以把荷載提高到大約兩倍。用水力千斤頂進行加載。在達到最大荷載時，壓力就要降落，裂縫就要張開，而一段牆角則在荷載減小的情況下而逐漸地傾復。如果不是用水力千斤頂進行加載，而是用某些沉重的材料加載時，那末在達到最大荷載時結構就要發生破壞。在最大荷載時的過梁撓度不超過淨跨度的 $1/1000$ 。而且在荷載開始降落之前，並沒有發現有任何現象，足以表明結構已不能承擔它的使命。因此應當認為結構所能支撐的最大荷載就是過梁的承載能力的極限。

四周支承的正方形鋼筋混凝土板曾經在蘇聯中央工業建築科學研究所(ЦНИПС)的試驗室中進行過試驗。一直到某一荷載 P 時為止，平板的撓度都是不很大的。平板在荷載 P 作用下的總撓度約為其跨度的 $1/2600$ 。要使平板的撓度增大到兩倍，只要把荷載總值提高 7.5% 就夠了。當荷載為 $1.5P$ 時，平板的撓度已為其跨度的 $1/130$ ；而正在平板的總破壞之前，也就是說，當荷載為 $2.07P$ 時，撓度達到了平板跨度的 $1/43$ 。從上面這些資料數據可以看出，荷載 P 是表示平板工作的轉折點。還是早在平板的總破壞之前，它的撓度就已經達到了完全不能適用的程度。雖然 P 還是離開平板的總破壞很遠，卻應當把荷載 P 作為平板的承載能力的極限。

在上面所討論的兩個結構例題中，我們採用作為承載能力耗盡的兩種狀態，在本質上是不相同的。磚砌過梁的承載能力的耗盡要比鋼筋混凝土板的承載能力的耗盡具有嚴重得多的後果。應當考慮到，這已經是一個額定標準的問題，它是可以用選擇適當的安全

系数来获得解决。計算的任务就是要估計出在怎样的条件下結構的承載能力可以耗尽。这些条件是由所用的材料性質、結構所承受的作用效应、結構的体系和它的尺寸大小来决定的。

在使用时,由于各种各样的外来作用和內在原因的影响,材料的性質以及結構零件和构件的几何特性都是可以变化的。

作为引起上述变化的外来作用的例子,可以指出有化学浸蚀性的环境、高温、冻结和融解、磨損、超过材料的持久強度的应力作用、足以引起疲乏破坏的充分振幅的多次应力振动等等。

举例來說,混凝土的硬化就是属于由內在原因而引起的材料性質的变化之一。

有时为了闡明承載能力耗尽的条件,必須注意观察替換作用的順序及其影响的彼此相互叠加。举例來說,灌筑混凝土后的头几天中所发生的裂縫可能要影响到实体混凝土結構的承載能力。水泥硬化时要发出热量来,这种热量的积貯和散逸在实体混凝土中建立起随時間而变化的温度場。混凝土的彈性和蠕变是和这个温度場有关系的,而且和这个温度場以及由于混凝土硬化而引起的体积变形一起决定了应力場。混凝土的強度也是和温度場有关,而且主要地是随着時間而变化的。因此作用应力和強度极限的比較就需要考虑在实体結構中所发生的变化过程。这类問題的分析是十分复杂的。

在大多数的实用情况中,都可以把問題大大地加以簡化,特别是,当荷載是主要作用时,尤其是如此。

以后并不去研究疲乏問題、持久強度問題和动力作用問題。現在假定,同所考虑的荷載作用时相适应的构件的材料性質和几何特性总是可以預先估計出来的。这样一来,这个問題就可以归結成为研究在最后荷載时結構的承載能力耗尽的条件。

虽然認為荷載是主要作用,但在一般情況下却不要忘记还有其它因素的影响,举例來說,如同支座移动的影响、温度变形的影响、以及由于以前荷載或其它原因所引起的殘留变形的影响。在某些已知条件下,这些因素和由这些因素所引起的內应力可能会对

承载能力完全不发生影响;而在其它情况下,它們又会只在一定限度內对承载能力有影响,或者会显出有非常重要的影响。极限平衡法并没有直接計算內应力,但却可以确定,承载能力和內应力的关系是怎样的。

在本書第一章中給出了簡短历史的叙述。从历史的叙述中讀者可以看到,結構的承载能力的計算是在很古老的年代里就已經創立起來了,但在第十九世紀時期中,这个承载能力的計算几乎全被抛弃了,而其地位則为按照容許应力的彈性体系的計算所代替了。为什么会这样呢?一方面是因为在上世紀初期,材料的性能还是研究得不够充分和知道得不够多,因此,这个方法的論証基础发生了困难。在另一方面,除了結構的破坏外,是否还需要考虑結構的其它危險状态和意外状态是感觉到模糊不清的。按照容許应力的彈性体系的計算,無論如何都可以滿足这个要求,这一点具有表面上的普遍通用性。按照容許应力的計算在那个时期曾經是进步的方法,可以促进技术的发展。但因結構的承载能力只是間接地用这个方法估算出来的,所以仅仅考虑彈性状态有时会引出不正确的結論(例如关于鉚接的承载能力),按照容許应力的計算在某一一定的发展阶段上就成为在繼續前进的道路上的障碍。因此需要把它加以替換。

由于对材料的性質进行了更深入的研究,就有可能在新的基础上建立結構計算。金屬塑性的研究是具有重大的意义。因此在第二章中引述一些关于金屬塑性的資料和关于塑性理論的資料,特别是在最近几十年中成功地发展的理論。在第三章中研究了考虑塑性变形的某些鋼結構計算問題。这种計算和塑性理論間的关系大致上是与彈性杆件体系的建筑力学和彈性理論間的关系有些相类似之处。在第四章中我們專門致力于混凝土的变形和強度的資料的研究,也有(但份量較少)石料和砌体的研究。

应用容許应力的彈性体理論的缺点首先是在鋼筋混凝土結構中表現得最为显著和难堪。当然,放弃按照容許应力的計算并且創立按照极限状态的結構計算正是在我們的国家(苏联)中實現的;

这是由于我国各个五年计划的大规模建筑实践的要求尖锐地提出了最合理地利用材料和节约劳动的问题，而且也是由于我国的科学家们是用最先进的世界观——辩证唯物主义武装起来的。早在三十年代时期，就已经创立了并且也实际上掌握了按照破坏阶段的钢筋混凝土构件的截面计算。在本书第五章中叙述了这个工作的某些简短总结。

根据以前的全部材料，在本书第六章中阐明了现代形式的极限平衡法的前提和它的主要内容。按照它的本身意义来说，第六章是本书第一册的中心部分。

这个方法并不是和一百多年以前曾经应用过的极限平衡法完全等同的。不仅在计算的对象上有区别，从计算的对象来说，著者根据自己的工作范围在本书中把钢筋混凝土提到首要的地位，而在一百年以前，钢筋混凝土却还没有出现。我们可以看到主要的区别在于企图得到更严格的方法根据，和更慎重地选择这个方法所解答的问题。

在本书第一册的第七章和最后部分中给出了极限平衡法对于某些结构计算的简单而十分多样性的应用，这些结构计算可以作为第六章的一般原理的应用例题。

本书第二册将完全致力于钢筋混凝土的研究。这里要讨论杆件结构、平板、无梁楼盖、肋形板、某些形状的基础和其它结构的计算。除了极限平衡法计算的应用以外，对于钢筋混凝土结构的试验要有更多的注意，这些试验有相当一部分是在苏联中央工业建筑科学研究所钢筋混凝土实验室中在作者的领导下进行的。把试验数据和计算结果加以比较，可以看出极限平衡的计算是非常有前途的。但作者并不企图隐蔽困难，同时还要指出尚未解决的问题和完全没有明了的问题。

第一章 从建筑力学的历史说起

一、在建筑力学的創立以前

在从前的年代里，当建筑工作者还没有掌握结构計算的理論，又没有材料和结构的實驗室試驗的資料可以依据时，那末，建筑工作者的唯一导师就只能是直接的实际經驗了。

对于那些能够很好地完成其使命的現存结构加以研究，使得从前的建筑工作者可以規定出结构設計的規矩，对于新的建筑工程就可以广泛地应用这种規矩来进行設計。但如果对那时的建造师提出了这样的任务：需要創造一些新型结构，或者是需要建造前所未有的那样規模的结构物，或者是需采用未經考驗过的建筑材料，那末，他往往就要面临着一种危險——这就是结构物破毀的危險。毫無疑問，结构物的破毀曾經是从前的建筑工作者們的最好教师，当然也是最严厉的教师。

当我们仔細地观察已經屹立于整个世紀的古老结构物时，我們常常会惊奇它們的结构竟会有如此的合理性。初看起来，很难理解到，那时建造师还没有具备我們現在的知識，他怎样能够得出这样令人惊奇的成功呢。

但是必須不要忘记这样的事实，思慮不周或建造不良的结构物常常是在修筑时期或者是在經過短时期的使用之后，就早已破毀了。因此，能够保留到現在給我們看到的结构物，只是一些最可靠最坚固的结构物。

按照实际的范例而没有計算的这种設計方法，一直到建筑力学的某些理論已經建立起来了的时候，还是这样繼續应用下去。举例來說吧，早在十七世紀末期^①便已經开始研究了拱的計算方法；

① 关于拱計算的历史，除了下面所提到的著作以外，我們还可以參閱別尔胥节依宏教授(Бернштейн)的論文〔8〕，和他应我們的邀請而写的，但没有发表过的一篇手稿。

十八世紀的大桥梁家卜龙納(Перронэ)曾經应用过錢拉金(Деланг)的拱計算法,但是他也曾經拟制了設計块石桥梁的实用規則,而这些規則却并没有体验了錢拉金的理論,但在近代的規章指示中有时也引用了这些規則。

在十八世紀中,曾經有过許多建筑工作者認為結構計算沒有任何好处。

甚至納維在他的 1826 年出版的教科書[99]的序言中,当論証到結構計算对于工程师需要到多少程度的这个問題时,他認為“到現在为止,結構計算給数学上进步带来的好处要比改进建筑技艺更多些”。

現在我們回来講最古老的建筑力学著作。我們立刻就会看出,这門科学在它最初的萌芽时候就是研究結構的承载能力的計算的,到后来虽然曾經由其他問題占据了首要地位,但是承载能力的問題实际上始終并没有完全地退出了这門科学的視界。

在本章的範圍內,长久地停留在只有历史意义的工作中毕竟是不大合适的。

因此,我們主要地只提到一些少数的著作,給出了和在本書中所闡述的极相接近的有关概念和方法。

二、从伽利略到庫倫

伽利略(Галилей)在1638年所出版的著作“关于力学和局部运动的两个新的科学部門的談話和数学論証”[18]被認為是奠定了建筑力学的初步基础。其中一个部門的科学,如同在他的序言中所說的,是“关于固体对于使其破碎的外力的抵抗作用”;这就是“材料力学”或“建筑力学”。

伽利略所解决的建筑力学的主要問題是求出短形木梁在弯曲时的破坏荷載。

伽利略認為木梁对于拉伸的抗力是知道的,并且是和木梁的橫截面积成正比例的。在談到弯曲时,伽利略如此写道:“不难理解下面这种現象的原因,用玻璃、鋼料、木料或其他脆性材料制成的

圆柱体或棱柱体,当沿垂直方向悬挂时^①,能够支持很大的悬挂荷载;当水平位置按放时^②,这些柱体就会在较小的荷载作用下而弯折,而且当圆柱体或棱柱体的长度超过它的厚度愈多,则使其发生弯折的荷载也就愈小。我们想象一条棱柱体 $ABCD$,它的 AB 部分是嵌固在墙内,而在它的另一端上作用着荷载 E 。很明显,如果这个柱体发生弯折,那就会发生在 B 处;现在墙壁的边界就成为支点, BC 成为杠杆的一部分,在它上面作用着外力;而厚度 BA 成为杠杆的另一部分,在它上面作用着抗力,这种抗力是由柱体的 BD 部分和其埋嵌在墙内部分的联结力而引起的”。下面又写道:“因此,棱柱体 BD 对于裂断的绝对抗力(此处我们理解成为对于纵向

外力作用的抗力,而拉伸外力和抗力是彼此相等的)同由于杠杆 BC 对于裂断的抗力之间的关系好象是和 BC 的长度对于棱柱体的厚度 AB 之半或圆柱体的半径(如果是圆柱体)之间的关系一样”。

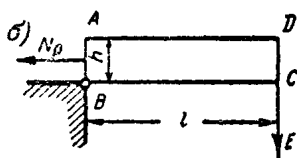
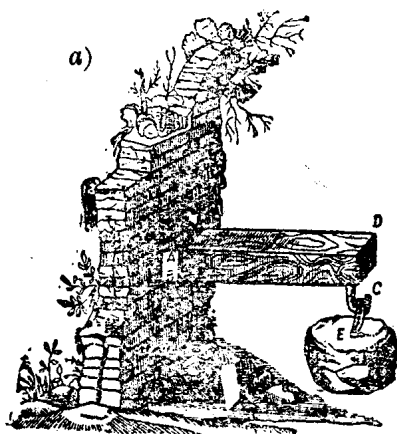


图 1

图1a是一幅很美丽的图画,它就是原书的一幅插图。

现在我们要来阐明这些论证。第一,伽利略没有加以证明,便拟定出了破毁的位置和破毁的方式:木梁是在和墙壁嵌固外的截面 AB 上发生折断,同时,木梁要绕着截面的下边缘 B 而旋转(图

① 就是说,当拉伸时。

② 就是说,当弯曲时。

16)。这种破壞形狀，对于抗压比抗拉强得多的材料（石料、玻璃）來說，是非常接近于实际情况的。因为归根到底，整个截面都要裂断，伽利略認為截面的抵抗作用是和純拉伸时相同，也就是說，在截面中发生了軸向拉伸力。

如果用記号 R_p 表示极限拉伸强度，用 F 表示截面积，那末，拉伸力 N_p 等于： $N_p = R_p F$ ，对于 B 点的力矩方程可以写成如下式：

$$El - N_p \frac{h}{2} = 0,$$

由此就可以得到了伽利略所提出的比例关系如下：

$$\frac{E}{N_p} = \frac{\frac{h}{2}}{l}。$$

如果采用記号 $El = M_p$ ，此处 M_p 一是破坏力矩，那末就可以得到 $R_p F \frac{h}{2} = M_p$ 或

$$R_p = \frac{M_p}{F \frac{h}{2}},$$

对于矩形截面來說，可以写成：

$$R_p = \frac{M_p}{\frac{bh^3}{2}}。$$

伽利略的这个論証并不是沒有毛病的，但是我們不要去責难它这一点，在抵抗力矩的数值上錯誤了三倍：在受弯曲的梁破坏时，根据材料性質的不同，应力图是可以有各种不同的形状的。直到現在为止，还有許多种材料的这种应力图是研究得不够透彻的。現在我們用混凝土的情况为例来提醒注意，混凝土的拉伸极限强度常常是根据矩形截面的弯曲試驗用下面的公式求出来的：

$$R_p = \frac{M_p}{\frac{5}{18} bh^2} = 3.6 \frac{M_p}{bh^2}。$$

無論如何，伽利略得出了一個公式，使得他做出一系列正確而深刻的結論。他比較了平放木板和豎放木板的抗力，他比較了作用在梁端的集中荷載和梁上的均勻分布自重的影響，他比較了一端嵌固梁的強度和兩端支承梁的強度，他指出，當把梁的尺度成比例地加以變化時，由其自重所引起的彎矩要增大得比其強度的增長快得多，由此他做出了對機械和結構物具有實用意義的結論，並且肯定地說，“自然造化是不會創造出一匹有 20 匹馬那樣高大的馬來，除非在很大程度上改變了它的四肢軀體的比例，特別是骨格的比例”。

最後，伽利略介紹了等抗力梁木的概念，並且指出在應用這種概念時所獲得的節省重量，在造船結構中尤其顯得優越。

比較了兩端支承梁和中央支承梁的強度，伽利略給出了圖 2 作為例證，非常象徵地表明了這位學者對於彎曲問題的看法。

根據上面的全部說明，我們可以作出這樣的結論：

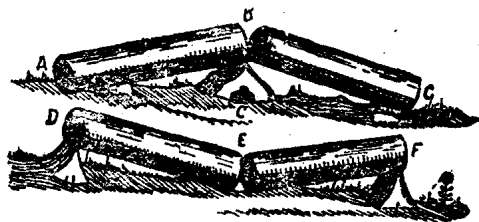


圖 2

1. 伽利略曾經致力於梁在彎曲時的承載能力的研究。他只限於研究了靜定梁。
2. 他僅憑直覺而不用計算，想象出了梁的破毀位置和破毀方式。
3. 他根據了這樣的假定，即和拉斷時一樣，在梁中也發生同樣的軸向拉力，他應用這個假定求出了梁在彎折時的截面抗力。
4. 他根據靜力方程，確定出破壞外力、梁的尺寸及梁的強度三者之間的關係。

用現代的語言來表達時，我們可以說，伽利略組成了對於截面的受壓邊緣的力矩方程。他大概是沒有想到彎曲時在截面中所應當發生的那些壓縮內力。如果注意到壓縮內力，並且認為這些壓縮內力是集中在截面的邊緣上，那末，伽利略的計算和論證並沒有任

何改变之处。

在伽利略之后，十七世紀和十八世紀的許多科学家們都曾經研究过受弯构件的强度問題。

自从虎克定律发表問世以后，馬利亚脫 (Мариотт) (1680年) 曾經进行了一系列的梁木在拉伸和弯曲时的破坏試驗。他得出結論認為，伽利略的理論給出偏大的弯曲抗力。

保留了伽利略的假設，即假定，梁的弯折是发生在其嵌固的地方，并且梁要繞着其支承载面的下邊緣而旋轉，馬利亚脫認為在危險截面上的拉应力并不是均匀分布的，而是和至下邊緣的距离成比例地增大的(也就是說，拉应力是和所采用的机动图相适应的位移成比例的)。

巴兰 (Паран) 和毕尔芬格尔 (Билфингер) 曾經指出有中性层存在，并說出寻求中性层的条件(在梁的縱軸綫方向上所有的力投影总和等于零)。

在十八世紀中，建立了变形理論、振動理論、以及彈性穩定理論(欧拉理論，1744年)。也提出了拱的計算的初步理論。

在大多数的情况下，認為拱是一个由許多有重量的剛性楔形块組合成的体系，而这些剛性楔形块是彼此紧靠着，但其間却没有摩擦力和粘着力存在的。这种理論給出了某些論点，可以作为选择拱的合理形状的根据，却不能用以驗證現存結構和所設計結構的强度。

这些計算方法，不管它怎样接近于問題的解答，在当时还是非常不完善的。

現在我們不去講这些方法，要轉到講庫倫的著作。对庫倫的著作我們需要講得更詳細一些。

三、庫倫和巴烏克尔

在1773年，庫倫 (Кулон) 提出一本書名为“极大极小法則对于建筑的某些靜力学問題的应用”的报告集。

在这本書中，說明了下面四个問題：1) 材料的强度理論，