

86.B1
YF4

109483

桥梁按极限状态设计

Г. К. 叶弗格腊福夫、Н. Б. 略林 著

張琳、簡錫九、郭可諾 等 译



人民交通出版社

桥梁按极限状态设计

Г. К. 叶弗格腊福夫、Н. Б. 略林 著
张琳、简锡九、郭可诒 等 译

交通部教育总局
批准作为铁路运输高等
院校的教学参考书

人民交通出版社

桥梁按极限状态计算

Г. К. ЕВТРАФОВ, Н. Б. ДЯЛИН

РАСЧЕТЫ
МОСТОВ
ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ
СОСТОЯНИЯМ

Утверждено
Главным управлением
учебными заведениями МПС
в качестве учебного пособия
для высших учебных заведений
железнодорожного транспорта

ВСЕСОЮЗНОЕ
ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ
МОСКВА 1962

本書根据苏联铁路出版社1962年莫斯科俄文版本译出

张琳 蔺锡九 郭可谔 等译

人民交通出版社出版

(北京安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可証出字第〇〇六号

新华书店北京发行所发行 全国新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印刷

1963年12月北京第一版 1963年12月北京第一次印刷

开本: 850×1168毫米 印张: 104张

全書: 276,000字 印数: 1—3,000册

統一書号: 15044·1479

定价(10): 1.85元

本書闡述了按極限狀態設計橋梁的基本原則並列舉出木橋、鋼筋混凝土橋和鋼橋（包括與混凝土板的聯合梁橋）橋跨結構，混凝土和石墩台以及地基和基礎的計算實例。

本書可供鐵路、公路、城市橋梁技術人員，有關院校師生，橋梁科研工作者學習和參考。

參 加 譯 校 人 員

作者序言	交通科學研究院	蘭錫九
第一章	交通科學研究院	陳 堯
第二章	鐵路專業設計院	楊潔芳、吳樹棉
第三章	交通科學研究院	吳聖鄒
第四章	鐵路專業設計院	邵厚坤
第五章	鐵道科學研究院	張 琳、過沛淵、肖慶羽
		吳亮明、沈恒濟、唐詩明
第六章	鐵路專業設計院	王能遠、俞厚誠、李上智
		李興云
第七章	鐵路專業設計院	郭可諾
第八章	交通科學研究院	蘭錫九
第九章	交通科學研究院	黃德康
附 錄	鐵路專業設計院	王能遠、邵厚坤、楊潔芳

全部譯稿經鐵道科學研究院程慶國、戴荷生、夏子敬審校。

目



作者序言	4
第一章 緒論	6
第二章 荷載及其系数	16
第一节 总則	16
第二节 恒載及不变的影响力	25
第三节 豎向活載	32
第四节 豎向活載的水平作用力	42
第五节 通过土来传递的活載	45
第六节 其他临时性荷載和影响力	49
第三章 木結構計算	53
第一节 基本原則	53
第二节 內力及力矩的确定	55
第四章 普通鋼筋混凝土結構計算	61
第一节 基本原則	61
第二节 鋼筋和混凝土的强度特征和变形特征	65
第三节 計算受弯构件的一般公式	69
第四节 矩形截面受弯构件	76
第五节 T形截面受弯构件	86
第六节 沿斜截面对受弯构件进行橫向力及力矩的計算	95
第七节 中心受压构件	105
第八节 計算偏心受压构件的一般公式	108
第九节 矩形截面偏心受压构件	116
第十节 工形及箱形截面的偏心受压构件	119
第十一节 偏心受拉构件	127
第十二节 偏心受压及偏心受拉构件的橫向力計算	131

第十三节 按第三种极限状态计算抗裂性.....	132
第五章 预应力钢筋混凝土结构计算.....	135
第一节 基本原则.....	135
第二节 受弯构件.....	140
第三节 偏心受压构件.....	178
第四节 偏心受拉构件.....	185
第五节 中心受拉和中心受压构件.....	189
第六节 混凝土局部应力的计算.....	192
第六章 钢结构计算.....	197
第一节 计算的基本原则.....	197
第二节 内力与弯矩的确定.....	215
第三节 计算主要杆件的一般公式.....	223
第四节 缀板、挖孔板及缀条.....	234
第五节 接头与接合.....	237
第七章 与钢筋混凝土板相结合的钢结构计算.....	241
第一节 基本原则.....	241
第二节 各部件的一般计算公式.....	244
第八章 混凝土及石墩台计算.....	255
第一节 基本原则.....	255
第二节 按强度计算墩台的特殊情形.....	261
第九章 地基和基础的计算.....	267
第一节 基本原则.....	267
第二节 基础地基的计算强度.....	274
第三节 按第一种极限状态的土质地基的强度 (稳定性) 计算.....	291
第四节 按第一种极限状态的基础位置稳定性计算.....	303
第五节 按第二种极限状态(按变形)的计算.....	305
附录	
1. 材料容重.....	318
2. 角度 φ 的三角函数值	319

3. 当 $K=14$ 时, 荷载 CK 对于三角形影响綫所产生的换算 均布荷载 k 值〔以吨/米計(沿綫路长)].....	320
4. $H-30$ 、 $H-10$ 、 $HK-80$ 及 $HT-60$ 对于三角形影响 綫所产生的换算均布荷载, 以吨/米計	323
5. 铁路列車竖向活載对具有特征的影响綫的加载方法	325
6. 計算钢筋混凝土結構的輔助資料	331
7. 計算預应力钢筋混凝土結構的輔助資料	342
8. 应力集中有效系数 β 的計算值	344
9. 鋼压杆的局部稳定条件	345
10. 計算鉚釘用系数 μ 值 (以1/平方厘米計)	348

作者序言

按极限状态的计算方法从1955年起用于建筑结构。1956年出版了全苏运输工程科学研究所制订的标准軌距铁路桥涵设计暂行技术规范(ТУПМ-56),在该规范中第一次采用了以极限状态方法计算桥梁结构^①。但由于与ТУПМ-56同时还保留着以容许应力为基础的 design 技术规范,新的计算方法在设计实践中并没有得到广泛的应用。

目前按极限状态计算一切型式的桥梁已成为必须的了。基本计算原则均已在苏联部长会议国家建设委员会1961年12月30日批准的铁路、公路与城市桥涵设计技术规范(СН 200-62)中予以规定。

СН 200-62 技术规范是按照共产党关于彻底改造交通运输的决议而制订的,并且考虑了铁路客車、汽車、凹底車和機車重量的发展远景以及当前铁路与公路运行速度和貨車密度的增长。

新技术规范向桥梁工作者指出了采用现代的和最有效的结构和材料的方向:装配式預应力鋼筋混凝土桥跨结构,应用高强混凝土和鋼筋的薄壁桩基础、低合金鋼、焊接連結和高强度螺栓連結等。在СН 200-62中,除了其他结构以外,还规定了与鋼筋混凝土板联合的鋼桥跨结构的设计特点。

СН 200-62 技术规范第一次规定了一切桥涵的綜合设计和按极限状态先进方法来计算桥涵,这种方法可以基本上使计算接近于结构及其构件在使用时的实际工作条件。

总之新技术规范能保证桥梁结构中材料的更好与更有根据的分配,保证桥梁建筑质量的根本改善以及桥梁承载能力的提高。

^① Н.Е.Лялин и Н.Н.Стрелецкий. Основы расчета мостов по предельным состояниям. Труды ЦНИС, вып. 15, Трансжелдориздат, 1955.

在有意识的利用上述技术规范并对这些或那些公式的来源、各种设计标准的根据以及新技术规范的其他特点有了十分清楚的概念后，桥梁结构、基础及其地基的计算才能逐渐实现向新方法的过渡。

高等学校里在学习桥梁教程时研究按极限状态的计算方法具有重要的意义。

这本推荐为高等技术学校学生和设计师的参考书并不代替确定作用在桥梁构件中力矩和內力的桥梁静力计算的书籍，这部分地是由于静力计算方法仍然保留而无重大的改变。本参考书也不代替其中仅列有主要设计标准和计算指示的那些技术规范。

钢筋混凝土结构（包括预应力混凝土结构）的计算，以及地基和基础的计算叙述得最详细，因为正是在它们中许多原理都是新的。注意到在钢筋混凝土结构的新课程中用以验算耐久性的计算公式阐述得不够充分，作者们认为给出钢筋混凝土结构强度与耐久性计算基本公式的推导是有益的。在有可能的一切地方均列出了能减轻计算过程的表格和图解。

本书有限的篇幅与摆在作者面前的课题，不允许在这本参考书的内容中包括 CH 200-62 全部推荐公式的推导和对所进行的试验与理论研究以及那些类似材料的详细描述；在很多情况下不得限制于引证参考文献。

按极限状态计算桥梁方法的广泛采用才仅仅开始。自然，按这种方法的很多设计规则研究得还不够完备。由于缺乏按新技术规范设计桥梁的足够经验，更增加了编写本参考书的困难。

作者们将对能进一步改进本书的一切指正意见表示感谢。

第一章 緒 論

直到最近以前，桥梁的結構、地基及基础均按容許应力法計算，而預加应力的結構則按破損荷載計算。

众所周知，在設計的結構及构造物按容許应力計算时，首先确定由所謂标准荷載产生的內力，其次按这些內力計算应力，并将計算应力与容許应力相比較。后者是以安全系数除材料强度指标而获得的。

标准荷載是根据作用在結構物上各因素的最大可能值的考虑来确定的，而安全系数則是在結構物使用实践的基础上仅凭經驗方法来确定其数值的，而缺乏严格的科学根据。其中作了如下的假設，即安全系数应能抵消所采用的构造物計算方法的不确切性及条件性、荷載較标准值的增大、使用材料的强度指标可能的偏离及构造物的实际形状及尺寸可能与設計的不一致等。

各种各样的現象采用了单一的安全系数而未分別加以分析，无怪乎对于安全系数規定值的正确性缺乏信心。由于安全系数常常变异，因而并非偶然地得到了《未知系数》的中肯称号。

以极限状态方法代替按容許应力計算，首先建立了計算与构造物在营运上的适用标准之間的明确联系。极限状态是当构造物的結構或其基础在力的作用影响下不再适合营运对其提出的要求。发生极限状态的一种情况是例如破坏或倾复，表示营运可能中断（完全的或临时的停止），而另一种情况是引起正常营运的困难。后者可能发生在以下情况：如桥跨結構的挠度与振动过大、墩台变形过大、鋼筋混凝土受拉区裂縫扩展等，因此虽然不必完全停止营运，但須限制車輛通过的速度及进行这种或那种的維修工作。

計算的任务就在于确保构造物在营运中免于发生上列不能容

許的极限状态。为此必須使按計算力的作用所求得的内力(应力)值及变形值不超过設計技术规范、准则和指示中所規定的极限值。

按极限状态的計算中，預先要考虑到本施工及营运期間結構物及基础在实际工作中可能出現的不利条件。

不言而喻，保証营运所要求的可靠性不仅有賴于包括建筑物計算和构造在內的細致設計，而是在很大程度上有賴于制造及施工过程中的高度质量，以及在营运过程中的仔細养护与監理。

新的方法規定，在一般情況下按照三种极限状态計算：

1)按第一种极限状态計算，用以保証构造物不致因丧失承载能力(强度、耐勞性、稳定性)或发生严重的塑性变形而使营运遭到破坏。

2)按第二种极限状态計算，用以保証构造物不致发生过量的总体(弹性的或剩余的)变形、振动、变位、沉降而使正常营运发生困难。

3)按第三种极限状态計算，用以保証构造物避免因开裂而引起正常营运的困难。

利用容許应力或相应的容許变形时亦进行类似的計算，但极限状态法和容許应力法相比較具有某些特征。

当按第一种极限状态計算时，重要的特征是以几个計算系数代替总的安全系数，利用这些系数可以分別考虑各种不同因素的影响。这些系数的数值是在統計法的基础上确定的。

例如按强度确定由碳素鋼或低合金鋼制造的結構的第一种极限状态的特征时，可以采用鋼的流限，因为应力的繼續增加会引起巨大的剩余变形并使建筑物不再适用于以后的营运。

对Ст.3号鋼要求样品的流限不低于2,400公斤/平方厘米(标准流限或称作废品限值)，可是由于檢驗性試驗抽样的特性，实际的流限在个别情況下及在一批鋼材的个别部分向較低的方向偏离标准值。显然也会有一部分鋼材具有較高的流限。同一牌号的鋼材若具有足够多的試驗結果，可以繪制成鋼的流限分布曲綫

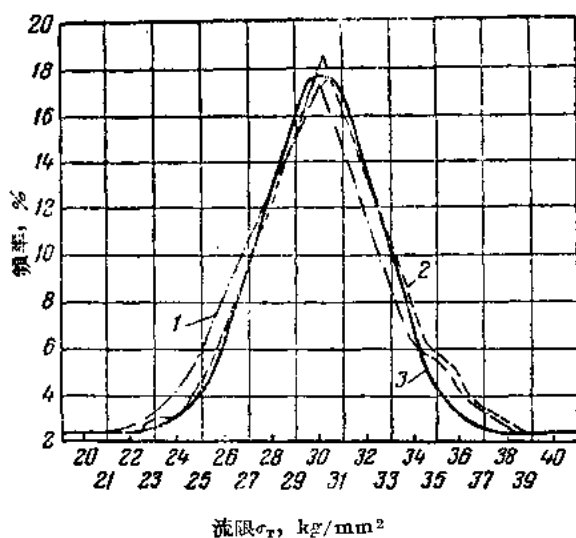


图1 鋼材流限分布曲綫
1及2-为不同工厂的鋼材；3-为理論曲綫（高斯）

(图1)。为此，沿纵座标軸标出同一范围流限的样品数目（以总数的百分数表示），例如对于 Cr.3 号鋼的流限自 21 至 23 公斤/平方毫米、自 23 至 25 公斤/平方毫米等，然后連接得出的各个点。

具有某种規律性的过程或現象的特征可以用与高斯、皮尔逊等理論曲綫相接近的一种分布曲綫描繪出来。越是均质的材料將得到越密集的曲綫，均质性較差的材料，曲綫也較分散。

根据分布曲綫并运用数理統計的理論，可以确定对平均值的偏差值及这一偏差的或然率。为此須求得均方差或称为分布曲綫的标准差。

$$\sigma = \frac{\sum y_1 (x_1 - a)^2}{n - 1}$$

式中： x_1 ——对应于纵座标 y_1 的分布曲綫上的横座标；

a ——最大纵座标 y_a 的横座标（最常出現的数值）；

n ——样品的数目。

重复出現的数值的不同或然率与曲綫标准差的各种不同的数

值相适应，例如三倍的标准差适应于0.0014的频率，这个数值通常在极限状态法中被采用。

这样，结构计算中应该考虑的钢的最小流限值可等于

$$R = R_n - 3\sigma$$

式中： R_n ——相当于分布曲线最大纵座标的流限。

以保证指定数值的变化程度为特征的匀质系数应等于

$$k = \frac{R}{R^n}$$

式中： R^n ——标准流限（对Ст.3号钢而言， $R^n = 24$ 公斤/平方毫米）。

由此可见，通常所谓计算强度 R 很易于通过标准强度（在当前情况下即为流限） R^n 乘以匀质系数 k 来表达。

用相似的方法可以求得其他强度及变形指标的匀质系数：混凝土在受压、受弯及受拉时的强度极限、混凝土的弹性模量及土的强度等。

运用极限状态法时必须考虑到实际作用的荷载超过其标准值的可能性，因而需要利用根据统计方法确定的超载系数 n 。

当所考虑的荷载形式与其他荷载形式相组合后，可能较其共同作用力增大或减小时，必须考虑该荷载的实际值较标准值超越或降低的可能数量。例如桁架杆件由于活荷载既会发生拉力也会发生压力，而由恒载仅发生拉力，所以活载在某一个位置上时恒载加大了它们的共同作用，而在另一个位置上时恒载减小了它们的共同作用。因此引用于恒载的恒载系数 n （更确切些是荷载变化系数）为大于和小于1。

因此，所谓计算荷载（荷载的极限值）如用标准荷载乘以超载系数来表达，极为方便。

极限状态法的各种计算系数实质上是最低的必要的储备量的各个组成部分，所以在计算中具有超载系数并不能因此而允许在设计、施工及营运时荷载可以超越标准值。同样地运用匀质系数的事实也决不能理解为验收材料时可以降低规定的要求，特别是

对于标准强度而言。

1930年的标准竖向活载 HK 大约相当于最近时期的实际荷载。因此以1930年的标准荷载（如 ТУПМ-56 所采用的）按极限状态法设计铁路桥梁时，除超载系数外尚须引入远期增长系数。为了便于利用技术规范起见，在强度计算时将该系数相乘。

在新的技术规范中规定了新的标准竖向车辆荷载（C14 及 C10），其中包括机车、车辆、凹底车及其他车辆单位的远期荷载增长，因此，对于这些荷载仅仅乘以超载系数即可。同样地也重新修订了公路及城市桥梁的汽车荷载。

计算荷载多次反复作用（对材料的耐劳性）时，不言而喻，不需考虑偶然的、极少发生的因素，所以也不必引入超载系数。正好与此相同，当确定这种计算的标准荷载时应该除去不常出现的车辆型式（重型凹底车及车轮荷载）。这一点在技术规范中或者通过专门的折减系数或者直接地得到反映。

车辆的动力影响在桥梁设计中是直接利用冲击系数于标准荷载（亦即远景荷载）的方式表现出来的。

在极限状态法中对计算荷载区分为三种不同的组合：基本的、附加的及特殊的。在附加荷载组合和特殊荷载组合中以最大的超载系数，同时作用所有的活荷载的或然率显然比在基本荷载组合中小得多，而且一般地要比规定超载系数时的或然率要小，所以用附加荷载及特殊荷载组合计算强度及稳定性时，应采用其他较小的超载系数值。

除去上述规定外，按第一种极限状态计算时还具有另一种型式的系数，这个系数称为工作条件系数。这是在需要考虑计算方法的不精确性及条件性而应予修正时引用的。

当计算桥梁结构时，除局部的工作条件系数 m_2 外，尚需补充以总的工作条件系数 m_1 ，这是用以估计结构物的实际尺寸或形状与设计之间可能有的偏差（在规定公差范围内）的影响的。可以将考虑结构杆件受压总稳定性的系数 φ 及考虑变化与变更符号的应力反复作用影响的系数 γ 也包括在工作条件系数内。

新的计算方法的重要特点是确定结构物按实际工作条件的极限状态，在必要时，其中应考虑在弹塑性范围内出现的各种现象。这一特点仅在钢筋混凝土及混凝土结构的计算方法中得到相当充分的发展，对于这些结构曾经建立了按破損荷载计算的方法（但用总的安全系数）。甚至对于这些结构，也像对其他材料制造的結構一样，按极限状态法设计桥梁时力素（弯矩^①、横向力、桁架杆件内力等）的确定也是在构造物的弹性工作阶段内进行的，就和在容许应力法中一样。

在极限状态法中，总的强度条件通常写成：

$$N \leq \varphi$$

式中：N——外部的作用力（连同相应的超载系数及冲击系数等）；

φ ——承载能力（带有匀质系数及工作条件系数）。

但是，在大多数情况下用应力来表达上述条件更为方便

$$\sigma = \frac{N}{F} \leq R$$

式中：N——带有超载系数的外部作用力（弯矩、杆件内力、横向力等）；

F——杆件截面几何要素（横截面面积、截面模量等）；

R——材料的计算强度，如上所述，系利用匀质系数乘标准强度而得，于必要时尚需乘以工作条件系数。

对一切永久式桥梁的结构而言，在营运阶段的大多数强度计算及形状稳定性计算中采用总体的工作条件系数 $m_1 = 0.9$ ，为了简化计算起见，可以很方便地将它直接引入计算强度中。

对制造、运送及吊装工作重视较差的情况，这时应采用 $m_1 = 1$ ，计算结构时需将强度增大 10%。

对于投资等级較低的木结构桥梁而言，如同对于工业和民用建筑物的普通结构一样，计算时采用 $m_1 = 1$ 。

① 此处原文为弯矩，也有譯为挠矩的——編者注。

因为土随着時間而逐漸固結，而地基基础是按照远景荷載計算的，所以此时也采用 $m_1=1$ 。

局部的工作条件系数 m_2 在某些情况下也可立即引用于相应的計算强度。在其他預先說明的情况下它們被独立地引入技术规范，在計算中，或者被考虑为計算公式右边部分的乘积，或者被考虑为計算公式左边分母部分的乘数。

结构物按第一种极限状态对位置稳定性进行計算时，新的方法与普通方法有所不同。

为了明显地区分两种不同的概念及为了避免仅采用綜合术语《稳定性》所引起的模糊观念，在 TYM-56 中首次引用了术语《位置稳定性》及《形状稳定性》。例如，倾复及滑动使桥跨结构及墩台的位置稳定性遭受破坏；而杆件的纵向弯曲^①及梁腹板的弯曲等现象则是形状稳定性的丧失。

所有这些情况均属于第一种极限状态，因为它标志着营运的完全破坏。桥跨结构的挠度及墩台的沉降等变形不同，后者并不引起营运的破坏，而只給正常的营运带来困难。

按极限状态对抵抗倾复及滑动的位置稳定性进行計算时，如同对强度及形状稳定性的計算一样，旧有的綜合安全系数应被分解的計算系数所代替。

在这种情况下，对荷載的储备引用了超载系数的形式，而不能以直接方法（例如利用計算公式）考虑的特点則用工作条件系数来反映。

在这里工作条件系数 m 是用来考虑計算的假設性的，因为相接触的物体不是绝对刚性的；此外，注意到实际构造物与设计图仍有某些程度的差异，因为，例如，由于存在施工公差，外力作用点可能有变位，而偏心距可能增大或减小。最后，还可能出現其他的不利因素。

这样，計算稳定性时极限不等式 $N \leq \varphi$ 亦可写作

① 此处原文为弯曲，也有譯为挠曲的——編者注。

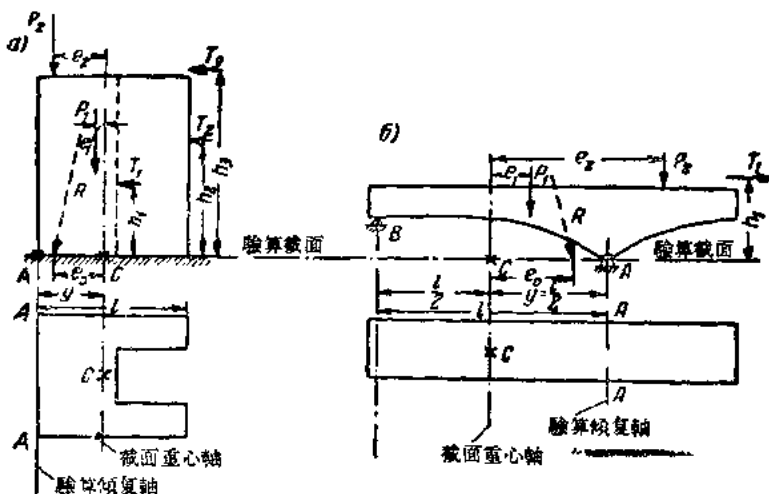


图2 抵抗倾复的位置稳定性计算示意图

a) 墩台; b) 桥跨结构

抵抗倾复时

$$\frac{M_{onp}}{M_{np}} \leq m$$

抵抗滑动时

$$\frac{T_{ca}}{T_{np}} \leq m$$

式中: M_{onp} 及 M_{np} —— 计算荷载所产生的倾复力矩及极限力矩;

T_{ca} 及 T_{np} —— 计算荷载所产生的剪切力及极限力。

抵抗倾复的位置稳定性计算示意图参见图2。

倾复力矩按对于验算截面的重心亦即 C 点来确定, 可自图2a 得知。当支承在分设的支点上时, 例如悬臂式桥跨结构中(图2b) C 点设置在两支点中间。

极限力矩形成于这样的位置, 即一切力的合力将通过截面的边角 A 点, 亦即

$$M_{np} = y \Sigma P_i$$

在已知的压力作用下能被承受的剪切力即为其极限值, 亦即相应于该压力的摩阻力, 所以 $T_{np} = \Psi \Sigma P_i$, 此处 Ψ —— 摩阻系数。

上述的极限不等式经代换后即可方便地写成以下的形式: