

公路工程参考资料

第二輯

人民交通出版社

公路工程參考資料

第二輯

*

人民交通出版社出版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新華書店發行

公私合營燕成印刷工廠印刷

*

1958年12月北京第一版 1958年12月北京第一次印刷

開本: 787×1092 1/32 印張: 5 1/2 插頁2

全書: 125,000字 印數: 1—2400冊

統一書號: 15044-1271

定價(10): 0.85元

目 录

根据极限状况设计水泥混凝土铺砌层.....	副教授、技术科学付博士 Л. И. 戈烈茨基著 (3)
磨细生石灰稳定土壤.....	技术科学付博士 Г. Н. 列夫卡诺夫斯基著 (19)
桥墩局部冲刷的计算.....	技术科学付博士 И. А. 雅罗斯拉夫切夫著 (37)技术科学付博士 О. В. 安得列也夫校
城市桥梁方案设计的简略方法.....	郑可扬编译 (50)
公路桥梁设计载重的修改.....	Е. В. 杜马克工程师 (67)
公路整体式钢筋混凝土桥梁上部构造的悬臂梁.....	И. А. 哈赞工程师 (70)
对斜交版形桥设计的一点建议.....	工程博士福格特、民主德国建筑顾问 (83)
曲线钢板梁桥.....	难波隼象·上前行孝·镰田正义 (93)
工形及箱形断面的几何特性.....	Б. Д. 阿朗契克工程师 (104)
组合木梁的精确计算.....	技术科学付博士、Б. Е. 烏里茨基讲师 (112)
确定方洞盖板计算力矩用的图解.....	选自苏联“上下水道建筑物设计的合理方法”(122)
确定钢筋混凝土受弯构件挠度用的图表.....	技术科学博士阿代克夫 (124)
计算具有不对称钢筋矩形截面的偏心受压钢筋混凝土构件的图解.....	K. A. 捷連斯基工程师 (130)

不同含水量木材极限强度的换算.....	
..... 技术科学付博士 Д.В. 馬尔齐涅茨	(137)
現場石料强度的快速测定法.....	A.M. 維克多洛夫 (145)
用超声波試驗瀝青混凝土 ...	Л.Б. 格晋次韋依工程师 (148)
按抗弯强度計算混凝土配合比.....	
..... 技术科学付博士 A.M. 博古斯拉夫斯基	(156)
緩和曲綫測設新法.....	
..... П.А. 費多謝耶夫与 E.П. 費多謝耶夫工程师	(163)
采用专业化土方工区修筑路基的經驗.....	
..... Г.И. 吉加什維利, Г.Д. 馬尔季罗索夫	(175)

根据極限狀況設計水泥混凝土鋪砌层

副教授、技术科学付博士 Л. И. 戈烈茨基著

計算水泥混凝土板的强度及稳定性，正确地考虑混凝土板的真实的工作情况，是道路鋪砌层設計中最重要的任务之一。通过計算应求得板之結構尺寸以保証足够的强度，同时不使尺寸过大，以免增加建筑費用。

在苏共第十九次代表大会关于发展 1951~1955 年的苏联国民經济的第五个五年計劃的指示中，規定建筑費用应至少降低 20 %。

尽快而又正确地应用建筑施工规范新編，特别是应用根据極限狀況計算結構物的新方法，对完成这项指示必将起很大的作用。苏联学者及工程师們所拟制的这种方法是先进的，借此能更客观与更可靠地决定鋪砌层的真实工作情况，并与之相应地进行鋪砌层的計算，因而一般能节省建筑材料。

如所周知，在不久以前都是根据容許应力或破坏荷載的方法，而目前还是用这两种方法来計算結構物的强度和稳定性的。应用一个綜合的安全系数是这两种方法的基础，而采用安全系数时并没有科学根据，也没有考虑到結構物整体的工作情况。

由于这两种方法有缺点，因此苏联学者提出一种新的計算方法，称为極限狀況計算法。此法与前二者不同；它的基础是决定結構物工作的極限狀況以及一套考虑到超載現象、材料均匀性和工作情况后定出的新的計算系数。

我們不拟詳述根据容許应力或破坏荷載进行計算的方法的缺点，以及苏联的計算新法的实質，这些在專門著作中都有說明；我們只想闡明在設計水泥混凝土道路鋪砌层时，完全有可能与必要来应用极限狀況計算法。

計算的基本原理

应用根据极限狀況計算結構物的方法时，首先須确定水泥混凝土的設計极限狀況。显然，应將鋪砌层在强度和稳定性方面的最大承载力定为其极限狀況，这是按新法計算的第一种极限狀況。我們認為，根据第二种极限狀況（根据过大形变的产生）对水泥混凝土鋪砌层的計算进行校核是沒有意义的，因为当水泥混凝土鋪砌层发生这种形变时，不可能不形成裂縫。因此，按第一种极限狀況計算的水泥混凝土鋪砌层应按第三种极限狀況（按裂縫的发生）来校核。这种校核之所以必要，是由于水泥混凝土中不得有裂縫，首先因为鋪砌层中出現裂縫会改变計算图式，因而也会改变計算結果；其次，裂縫会提高水泥混凝土板的滲水性，而使其抗冻性降低。

从按第一种极限狀況确定結構物最大承载力的基本关系式出发，根据水泥混凝土鋪砌层的工作情况，可得：

$$M = m \cdot K R_{\text{пр}}^{\text{н}} \frac{b \cdot l^2}{6} \quad (1)$$

式中：M——根据一种适当的方法，并考虑超載系数 n 而定出的水泥混凝土板中之弯矩，

n ——工作情况系数，

K ——水泥混凝土的品質系数，

$R_{\text{пр}}^{\text{н}}$ ——规范規定的混凝土受弯时的抗拉强度（规范强

度)，

b ——板的長度（寬度）或所採用之單位長度（寬度），

H ——板厚。

根据公式(1)不难断定水泥混凝土板的厚度为：

$$H = \sqrt{\frac{6M}{bmKR_{\text{pi}}^{\text{H}}}} \quad (2)$$

公式(2)中，通常取 $b=1$ ，并令 $\frac{1}{mK} = K_{\text{san}}$ ，得：

$$H = \sqrt{\frac{\frac{6M}{R_{\text{pi}}^{\text{H}}}}{K_{\text{san}}}} \quad (2a)$$

將公式(2a)与根据容許应力計算水泥混凝土鋪砌层的公式相比較，可知二者完全相似，因为规范板极限强度 R_{pi}^{H} 与綜合安全系数 K_{san} 之比值，无非就是容許应力。然而这一改換仅使两种公式在形式上相似。公式(2a)中之系数 K_{san} 表示一套具有严格科学根据的系数，按容許应力計算鋪砌层厚度之各公式中的相当的系数則并非如此。

根据考虑到可能出现裂縫的第三种极限状况，对水泥混凝土板的計算，可按下列公式进行校核

$$\varepsilon = \frac{6M}{E_c b H^2}, \quad (3)$$

式中： ε ——水泥混凝土受拉区的相对形变，

M ——板中弯矩，根据已知方法之一定出，并用以按公

式(2)計算板厚,

E_G ——考慮混凝土隨時間而增強的現象定出之水泥混凝土彈性模量,

b ——板長(寬),

H ——板厚。

按第三種極限狀況對計算進行校核時,可將受拉混凝土的極限相對變形定為 $\epsilon_{np}=10^{-4}$ (0.0001)。

這樣,根據極限狀況計算水泥混凝土鋪砌層就是要考慮到決定鋪砌層真實工作情況的一切因素,同時利用統計資料以確定各系數的數值,然後按公式(2)求得鋪砌層厚度,再用公式(3)校核其中是否形成裂縫。

研究分析水泥混凝土鋪砌層的工作情況,得知在計算時須考慮下列幾個因素:

1. 由於作用的荷載並未完全計入,以及由於汽車的縱向及橫向搖擺而產生的動力加載,使鋪砌層有超載的可能。

2. 取決於溫度之年變動和晝夜變動,以及板的平面尺寸和厚度的溫度應力與收縮應力。

3. 由於水泥混凝土強度增長,鋪砌層的強度隨時間而有所改變。

4. 由於和設計中所採用的組成材料的強度指標有出入,並與製備混凝土的技術規程不符而使水泥混凝土質地不均勻,因而鋪砌層的品質發生變化。

5. 引起“混凝土疲勞”並與鋪砌層的工作強度有關的反复(交替)加載。

6. 在鋪砌層下面的路基變形模量的真實數值與計算時採用的平均值之間的出入。

完全考慮到上列各因素是一個複雜的任務。要解決這項任

务，必須进行專門实验，以便确定一系列現象的規律，如板受弯时“混凝土的疲劳”，加载的动力性等等。因此，只能根据各学者的研究，在某种程度上是假設地来确定对鋪砌层工作有影响的各因素的数值。然而这点并不妨碍我們彻底解决制定計算原則和各系数的确定方法这方面任务的。由于两个原因，今后对这些系数可能而且应当加以修正：首先因为我們对于所討論的这些現象的知識，将会更丰富与更深刻；其次施工质量也会改进，而因提高了鋪砌层的品質系数。按极限状况进行計算的新方法的先进性就在于此，它使我們能随着鋪砌层設計、修筑以及养护經驗的增多来修正各系数值。

极限状况計算中所采用系数的确定方法

相应于上述按极限状况計算水泥混凝土鋪砌层的基本原理，有必要进一步來說明各鋪砌层工作情况系数的确定方法，这点即使是簡單地叙述一下也有必要；然后将它們归納为三个主要指标：超载系数（ n ），工作情况系数（ m ）及品質系数（ k ）。我們將分別就上述每个系数研究这一問題。

考虑鋪砌层的超载系数—— n 。計算水泥混凝土鋪砌层时，基本荷载为通过輪胎傳遞的汽車重量。如所周知，在这种計算中，目前是不計入板的自重的，因此，超载量应根据养路机构的資料来确定，对于車輛貨載量利用率的統計資料进行运算的結果。根据这些資料^①，可以肯定貨載量利用率系数总是小于1（0.80~0.98）的。因此在汽車重量这方面的超载系数可取为1，亦即 $n_B=1$ 。

可能超载的第二个重要指标是加载的动力性。汽車作用力

^① 作者曾利用許多汽車場的汽車貨載量利用率資料，它們是由哈尔科夫汽車公路学院“公路運輸經營管理”教研組提供的。

的动力性取决于車輛类型、重量、行駛速度以及輪胎情况。在水泥混凝土鋪砌层上行駛的汽車的車輛，当遇到某种障碍（如接縫的不平整处）以及突然制动时，即撞击鋪砌层。撞击时，車重所生荷載的作用与靜載相比，显得是加大了。撞击力可能为彈簧底盤所緩和，但另一方面，彈簧本身却能引起縱向及橫向的摆动，这也稍使荷載作用加大。車輛駛过行車道的凹曲面时所发生的离心力也会使荷載增加。

Г. И. 波克洛夫斯基教授一般地解决了活載在彈性半空間体上作用的問題。然而这个解答所考虑的因素中，有很大一部分当分析确定动力系数时，只有通过观察和实验才能定出。这首先是指不平整度的大小以及它們沿道路縱向的分布頻率。因此，由于目前我們还未掌握这类資料，为权宜之計，利用 Н. И. 伊万諾夫教授的著作中所列举的通过实验求得的各类道路鋪砌层平均动力系数，是可能与合理的。根据这些資料，可取水泥混凝土鋪砌层的动力系数为 1.15。

随着水泥混凝土板尺寸的加大，不可不計入板的自重所产生的附加弯矩。由計算可知，大小为 7×7 公尺、厚 20 公分的板，其設計弯矩增加达 21 %。仅当板的平面尺寸很小而厚度很大（如大小为 3×3 公尺、厚 30 公分）时，設計弯矩才增加不多（2~3 %）。因此有必要确定一种超載系数，这种系数应考虑到在板的几何尺寸和混凝土的容重方面可能发生的变动。对混凝土及鋼筋混凝土結構而言，按照建筑施工规范新編，考虑到尺寸出入的超載系数定为 1.10。对水泥混凝土道路鋪砌层來說，根据我們的研究，超載系数平均应取为 1.138。确定这项系数时，我們測量了大批原有的板的厚度，以之与設計厚度相比，并利用数学統計方法求得它的数值。

因此，在決定設計弯矩时，須考虑板之自重，也就是要考

考虑超载系数。于是，设计弯矩将等于

$$M_p = M_B + M_{c \cdot B}, \quad (4)$$

式中： M_B ——汽车重量所产生的弯矩，同时计入由加载的动力性造成的超载——1.15，

$M_{c \cdot B}$ ——板之自重所产生的弯矩，同时计入超载量，其值平均为1.138。

考虑铺砌层工作情况的系数—— m 。在极限状况计算新法中，加于最大承载力数值上的工作情况系数需考虑到铺砌层特殊的工作情况，考虑到计算前提与实际不符或不够精确，以及任何与铺砌层正常工作情况有出入，而未计入在另两个系数（即超载系数 n 与品质系数 K ）中的其他情况。

研究水泥混凝土铺砌层的工作情况，可知决定铺砌层工作情况的最重要因素是：温度变动的影响，加载的重复性以及经过若干时候才将铺砌层交付使用这一事实有关的因素，这就要计入混凝土强度随着时间的增长。前两个因素降低铺砌层的强度，后者则增加其强度。

最复杂的是计算温度应力。目前还没有一种计算水泥混凝土铺砌层的理论，它能考虑到温度在一年和一昼夜间变动时所产生的影响。各作者所提出并已于实际工作中的几种著名的温度应力计算方法，绝大多数都是讨论杆件系统的计算，并且主要是以温度均匀升高为前提的。

我们根据 A. B. 别洛夫教授和技术科学硕士 П. И. 华西里耶夫制定的新颖有趣的方法分析水泥混凝土板中之温度应力后，得知当板内温度发生谐和变化而板底之温度为常数（如零）时，借此方法虽能定出沿板厚度方向的应力分布及应力随着时间的变化，但这一方法也不能完全解决温度应力的问题。应该指出，这个方法的计算工作异常繁重，要对每一个新的解

决问题的条件导出公式。

作者也曾根据 A. B. 里柯夫教授在烘干理论方面进行的独创性的研究, 提出一个计算温度应力的方法。照此方法进行温度应力分析, 比照 A. B. 别洛夫教授和技术科学硕士 П. И. 华西里耶夫的方法要简单得多, 而二法之结果, 在同样的计算条件下几乎相等。

研究水泥混凝土铺砌层中之温度应力后, 可得下列重要的结论:

1. 我们根据 H. X. 阿鲁秋年教授制订的弹塑性理论, 考虑到混凝土的徐变; 由于发生徐变现象, 温度年变化所引起的温度应力是不大的。

2. 使板体翘曲的温度日变化所引起的温度应力是很大的, 并且因为时间很短, 故此项应力不因混凝土的徐变现象而减低。

3. 温度应力的大小取决于板之尺寸及气候区, 可变化于 6 ~ 20 公斤/平方公分之间。然而此项应力在日间与荷载产生的应力的符号相反, 夜间则与之同号 (荷载在板中部时)。

4. 考虑摩擦力对温度应力减少的影响这一点, 就在于当进行板的总体计算时, 计入 5 ~ 7 公斤/平方公分的拉应力; 对于标号为 250 ~ 300 的混凝土, 平均可取系数 $m_t = 1.18$ 或 $m_t' = 0.85$ 以估计之。

决定铺砌层工作情况的第二个因素是加载的多次性 (变动性), 它使混凝土疲劳, 同时取决于混凝土的“耐劳极限”或“疲劳极限”。后者指混凝土的这种状态, 当重复加载无限次时, 其中发生的应力并不引起破坏。如所周知, 对混凝土而言, 其强度极限定为 $\sigma = 0.5 R_{bp}$, 此时可加载无限多次, 而在

$\sigma = R_{\text{BP}}$ 时，加载次数仅等于 1。这点说明取决于加载次数的混凝土的疲劳系数变化于 2 ~ 1 之間。此项系数的变化规律，根据文献中列举的实验资料，可由对数方程式来决定：

$$m_y = 1 + 0.095 \lg N \quad (5)$$

为求得混凝土的疲劳系数，须知加载重复的次数 (N) 以及荷载沿道路宽度的分布情况。

加载总数 (路上通过的汽车数) 根据已知的计算系数或养路机构的资料，就能容易地定出。较困难的是解决这项加载总数沿路宽的分布特性的问题。我们认为这一分布状况可根据或然率理论中已知的标准分配律来决定：

$$S = N \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-z^2} \cdot dz = N \cdot \Theta \left(\frac{x}{h} \right) \quad (6)$$

式中： S —— 在铺砌层同一点上的加载重复次数；

N —— 加载总数；

$\Theta \left(\frac{x}{h} \right)$ —— “测量结果的数学处理”一书的表中所列举的函数；

x —— 自中綫至路帶上任一点的距离；

h —— $\sigma \sqrt{2}$ ；

σ ① —— 平方中值誤差， $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - x_{\text{CP}})^2}{N}}$ 。

因此，为要按照沿路帶宽度的标准分配规律确定加载次数，须知偏离行車軸綫的平方中值誤差，只能在观察汽車沿路宽

① 注意，此处沿用誤差理論中的平方中值誤差 (标准值) 的符号，并非指混凝土中的应力。

的行驶特性后才能定出。然而若无这类资料，也能足够精确地解决荷载沿路带宽的分布问题，只要根据下列的边界条件：1) 路带宽度决定了可能的加载范围，2) 路带宽度之半可取为 3σ 。

于是，令 $x = \frac{B}{2} = 3\sigma$ ，并知 $h = \sigma\sqrt{2}$ ，得 $\Theta\left(\frac{x}{h}\right) = \Theta$

$\left(\frac{3}{\sqrt{2}}\right) = \Theta(2.12) = 0.997144$ 。意即在 1000 差誤中有了

(更正确些为 2.856) 次可能在路带范围之外或在路带范围以内

边缘部分上。因此，知道 $\sigma = \frac{B}{2}$ 后，式中 B 为路带宽度，

即不难确定沿路带宽度在铺砌层任意地点的加载重复次数。用这种确定加载重复次数的方式，可定出铺砌层各个部分的混凝土疲劳系数的微分値。

路上交通强度的分布，正如哈尔科夫汽车公路学院“道路修筑与养护”教研组的观察 (A.K. 比鲁利亚教授及研究生 E.M. 波波夫的研究) 所示，取决于道路行车部分的宽度以及交通性质，但一般说来，存在着强度较高和强度较低的部位 (道路边缘及中部)。考虑到这种部位，并由总的交通强度出发，可以决定，对道路而言，疲劳系数应等于 $m_y = 1.2 \sim 1.5$

或 $m_y' = 0.845 \sim 0.677$ 。

决定水泥混凝土铺砌层工作情况的第三个因素是混凝土随时间而增强。由于混凝土浇筑后实际上要经过 3 ~ 6 个月才将铺砌层交付使用，所以有可能来考虑这一现象。因此，应该考虑混凝土随着硬化而增强这一事实。

分析一系列确定混凝土随时间的增强程度的专门工作，同

时取混凝土在开始使用前的硬化期限为 3 个月，可决定这项系数应大约为 $m_H = 1.25$ 。

因此，将考虑工作情况的各个系数值，亦即：温度影响 (m_t)，使混凝土疲劳的荷载多次性 (m_y) 和混凝土随时间的增强 (m_H)，加以综合，就能决定工作情况系数总值 m 。此系数将为：

$$\begin{aligned} m &= m_t \cdot m_y \cdot m_H \text{ 或} & (7) \\ m &= 0.85 \cdot (0.845 \sim 0.667) \cdot 1.25 \\ &= 0.90 \sim 0.72 \end{aligned}$$

考虑铺砌层水泥混凝土品质的系数—— K 。为了正确地计算铺砌层厚度，不能不考虑到在浇筑铺砌层的面积内。混凝土的强度并非一成不变的这一事实。所以会有这种变异性或强度指标的分散现象，是因为技术过程的特点，而主要是由于组成混凝土的材料其指标是不一致的。

为要确定混凝土强度指标分散度变化的真正范围，就须用数学统计法来处理大批试件(立方体，短梁)。根据地下铁道建筑工程局 1945~1947 两年间的资料，技术科学硕士 Ш.И. 明茨所完成的对混凝土立方体试验结果所作的这类处理工作表明：1) 各种混凝土随制备条件之不同，亦即机械化与控制条件之同，其均匀程度与强度大不相同，2) 在任何制备条件下，混凝土之均匀程度随其年龄及标号之提高而增长。

因此，如果是在用机械化方法制备铺筑混凝土的道路上，同时混凝土的标号又很高，则浇筑铺砌层的水泥混凝土的品质系数应较用于其他小型结构物上的低标号混凝土者为高。我们研究的結果证实了这点，根据这些结果确定品质系数 $K = 0.785$ ，较建筑施工规范新编中为其它混凝土结构物所定之系数为大。

应该指出，我们证明了当试件的试验资料有限时，也有可

能来决定水泥混凝土的品質。这样做之所以必要，是因为表示板体受弯时工作特征的短梁的試驗結果为数不足。为此我們利用 В. И. 罗曼諾夫斯基教授在誤差理論的基本問題方面的研究，据此研究可以表明随着出現的可靠程度之不同指标平均值的變化范围將有多大。于是即使根据少数試驗也能討論品質系数，且具有一定的可靠性。

强度指标的算术平均值 R_{cp} 自將不出某一范围，此范围决定了指标 η 的精确度。这可写为：

$$R'_{cp} - \eta < R_{cp} < R'_{cp} + \eta, \quad (8)$$

式中： R'_{cp} ——根据为数有限的試驗求得之指标的算术平均值。

精确度 η 根据下式求出：

$$\eta = t_a S'_{Rcp}, \quad (9)$$

式中： t_a ——司徒登特-費舍尔表中所列数值，視規定之可靠程度以及試件的試驗数量 (a) 而定：

$$S'_{Rcp} = \frac{\sigma}{\sqrt{a}} \text{ 而 } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (R - R'_{cp})^2}{a - 1}} \quad (10)$$

依此决定指标平均值，并考虑其可靠程度，例如为 $\beta = 0.99$ 或 $\beta = 0.999$ 时，意即 100 或 1000 中可能出现一次超过規定的誤差，同时自一系列全部試驗中选出最小的指标，就能根据下列公式

$$K = \frac{R_{min}}{R_{cp} + \eta} \quad (11)$$

确定水泥混凝土的品质系数。

考虑土壤基础不均匀性的系数—— P 。如所周知，计算铺砌层时，采用同一大小的基础土壤形变模量，并认为此数值同等精确地表征了全部面积内的土壤。事实上，在浇筑混凝土的全部面积内，土壤基础的强度并不一致。因此必须引用相应的系数来考虑土壤的不均匀性。

作者根据在实验室对土壤进行少数试验所得资料^①研究过这一问题，应该认为这只能对土壤不均匀性作出近似的估计，因为如果利用野外土壤试验所得之资料将会更正确些。

用数学统计法处理试验土壤所得之实验室资料证明，土壤不均匀性系数之值可取为土壤形变模量的0.70倍或密度的0.90倍。对土壤的各种湿度而言，采用这些系数是很近似的。

在确定形变模量的设计指标时，应计入土壤不均匀性系数，其法为将通常的指标乘以系数，亦即 $E_{rp}^p = E_{rp}^H \cdot P$ 。

对根据极限状况计算水泥混凝土铺砌层一法

作出之实用的结论和建议

用极限状况计算法确定水泥混凝土铺砌层的厚度时，如上所述，可用公式(2)。

若采用O.Я.舍赫切尔确定弯矩的方法，则铺砌层厚度可按式求得：

① 助教B И 比鲁利亚提供这些资料。