

城市道路

(下 冊)

A. Я. 都拉耶夫 編著

同济大学城市道路与交通运输教研組譯



人民交通出版社

城市道路

(下 冊)

A. Я. 都拉耶夫 編著

同济大学城市道路与交通运输教研組譯

人 民 交 通 出 版 社

本書系蘇聯 A. Я. 都拉耶夫副教授在上海同濟大學對該校教師和有關業務單位的工程師們講授“城市道路”的講稿；其內容頗為豐富，除了介紹當時世界各國的先進經驗外，還結合我國的具體情況作了系統全面的闡述。

全書共分三冊出版。本下冊主要內容包括：水泥混凝土路面、用有機結合料鋪筑的各種路面、在改建道路中對現有路面的利用、城市道路的養護和修理等。

此書適合道路工程技術人員、城市設計師和建築工作者學習參考，也可作為公路學院和有關專業的教學參考書。

城 市 道 路

(下 冊)

A. Я. 都拉耶夫 編 著

同濟大學城市道路與交通運輸教研組 譯

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

：（北京安定門外和平里）

北京市書刊出版業營業許可証出字第〇〇六號

新華書店北京發行所發行 全國新華書店經售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 廠 印 刷

*

1963年5月北京第一版 1963年5月北京第一次印刷

開本：850×1168 1/32 印張：8 張 插頁1

全書：269,000 字 印數：1—1200 冊

統一書號：15044·1471

定價(10)：1.42元

目 录

第十三章 水泥混凝土路面	3
§ 62 整块水泥混凝土路面厚度的計算	3
§ 63 整块浇筑的水泥混凝土路面	37
§ 64 装配式水泥混凝土路面	71
第十四章 使用有机結合料的次高級路面	93
§ 65 使用有机結合料的次高級路面概說	93
§ 66 对次高級路面材料的要求	98
§ 67 表面处治路面	107
§ 68 貫入式碎石和砾石面层与基层	121
§ 69 路拌式碎石和砾石面层与基层	125
§ 70 黑色碎石(砾石)面层与基层	137
§ 71 磨耗层及保护层	148
第十五章 瀝青混凝土及柏油混凝土路面	155
§ 72 瀝青混凝土及柏油混凝土路面的分类	155
§ 73 热鋪瀝青混凝土和柏油混凝土路面	160
§ 74 冷鋪細粒瀝青混凝土和柏油混凝土路面	176
§ 75 瀝青土(土地瀝青)路面	186
§ 76 摊鋪地瀝青路面	192
第十六章 現有路面的利用	194
§ 77 現有路面与新設計路面强度的确定	195
§ 78 在利用旧路面原則下的新路面結構和計算	204

第四篇 城市道路的养护

第十七章 技术养护的任务	216
§ 79 路面变形和磨耗	216
§ 80 养护工作的組織和任务	223

第十八章 养护工作的确定	228
§ 81 路面状况的评定	228
§ 82 养护工作的分类	239
§ 83 确定养护工作类型的指标	243
第十九章 养护工作量计算	245
§ 84 路面修理年限和工作能力	245
§ 85 养护工作量	253

第十三章 水泥混凝土路面

§ 62 整塊水泥混凝土路面厚度的計算

混凝土路面工作条件的概念 混凝土建造的路面或基层是属于弹性—刚性类型的，因为其弹性模量 (E_1) 比土壤或垫层材料的形变模量 (E_0) 大 30 倍。在活荷重作用下混凝土板挠曲。其厚度的計算仅根据形成弹性形变的条件而确定。此外，应注意混凝土板会产生温度应力，而出现板的翘曲现象。按照我们的研究，在苏联极冷和深冬轉暖时期，混凝土板最上部和最底部之间的温度差，經常达到 -18°C ，而有时达 -24°C 之多^①。板愈厚，温度的差数（温度比降）愈大；反之亦然。同时，由于板长度的变化，平均温度相差 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，混凝土内的实际应力即达 0.5 公斤/平方厘米，而板翘曲所生的应力值还要大些，为它的 1.5 倍。按照苏联科学研究工作者（M. C. 柴里馬諾維奇、T. Я. 列茲尼克、A. Я. 都拉耶夫等）的資料，苏联中部地区可观察到板面和板底之间的最大温度差为 15°C 时，仅温度拉应力已达到 30~35 公斤/平方厘米，甚至能超过外部荷重作用下的允許应力。

这样，为了减少汽車輪胎行駛下形成的应力，要求增加混凝土板的厚度。但是随着板厚的增加，附加温度应力也提高了。在不良的气候条件下，这一应力可达到很大数值。

假如板面的温度比板底的大时，在板中央形成向上翘曲现象（图 62-1）。作者曾在最炎热的日子于莫斯科郊区公路上观察到混凝土板如此大的翘曲，而使車輛交通不得不暫行阻断。在个别混凝土板边缘抬高到 38 厘米，并在板上形成大量裂缝。

当板面的温度低于板底时，板中央向下凹，而边缘和板角向上翘。

翘曲的数值依据很多因素，即板本身的温度差 (Δt)、板长、垫层性质等而定。

在夏季，板纵向伸縮时，在板的底面和垫层材料之间产生摩擦。根据我们的研究，冬季，在板底面和垫层材料，例如与細砂之间的結冻力，根据細砂

① A. Я. 都拉耶夫, Г. М. 沙斯金 «提高对水泥混凝土路面垫层的要求»。苏联《公路》雜誌 1952 年第 2 期。

含水量約为 $0 \sim 3.5$ 公斤/平方厘米。直接把板鋪在粉土上时，結冻力約为 6 公斤/平方厘米。板底面和清洁的粗砂之間的結冻力实际上是非常小的。在最严寒的冬季里，粗砂具有毛細管含水量时，砂和板底之間的結冻力亦不超过 0.1 公斤/平方厘米。总之，在計算混凝土板时，必須考虑到板与垫层之間的摩擦力和結冻力。

用粗粒材料（碎石、砾石）或粗粒砂建造垫层时，板內 Δh 的数值总是比板直接鋪在細砂、特别是在粉土路基上时为小。随着垫层材料的骨料尺寸的增加，降低了材料的天然含水量，因此

提高了温度传导系数。混凝土和垫层材料之間温度传导系数相差越小，則 Δh 也越小。这就是說，必須尽量把混凝土板鋪在有足够厚度和相应質量的垫层上。这样，能預防混凝土板的不均匀冻胀。实际上，能消除数值很大的附加应力的形成。

假如垫层能滿足这些要求，那么，这时混凝土板就只要根据活荷重来考虑混凝土板，而沒有必要考虑到板翘曲时所产生的应力。

在这种情况下，只須用現有的理論之一，特别是弹性理論或极限状态理論，就可以确定混凝土板要求的厚度。

在实际計算混凝土路面时，大多不考虑板翘曲时产生的应力，因为，虽然板的上下部分的温度有差別^①，但在一般采用的安全系数下，板已足够坚固。

計算混凝土路面的原始資料 像柔性路面一样，須根据已知荷重計算混凝土路面。在苏联有各式机动車輛集中的城市里，混凝土路面的計算多半是按H-13进行的，并检查当安全系数降低时有通行重型汽車的可能性（表62-1）。

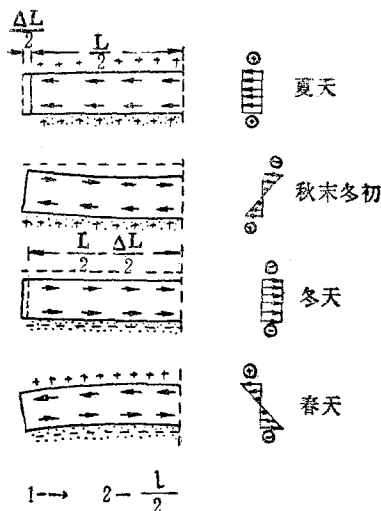


图62-1 混凝土板四季工作情况的示意图
1-板伸縮的方向；2-板长的一半

① B.C. 奥尔洛夫斯基 «水泥混凝土板翘曲时温度应力的估計». 苏联《公路》雜誌，1957年第2期。

計算荷重的特点

表62-1

荷重名称	正 常 汽 車		重 型 汽 車	
	輪胎压力 P_1 (公斤)	輪胎等圓直径 D_1 (厘米)	輪胎压力 P_1 (公斤)	輪胎等圓直径 D_1 (厘米)
H-10	3500	30	4750	30
H-13	4550	34	6175	34
H-18	6000	34	26000	34

在通行公共汽車、无軌電車和載重汽車的街道上，混凝土路面應該按照 H-18 計算。選擇計算荷重時首先應從重型汽車交通的條件出發。重型汽車的交通密度即使沒有超過總的交通密度的10%時，也要根據最重的荷重計算混凝土板。混凝土路面的特点是脆，相對拉伸變形很小(0.0001~0.00015)，因此，突然的加荷重是危險的。

當重複荷重所引起的應力等於混凝土抗壓強度55%時，混凝土就損壞了^①。因此在計算混凝土路面時，需要考慮到安全系數。全蘇道路科學研究院的實驗證明，安全系數愈大，則荷重重複性的影響也愈小。根據 O. 格拉費教授的資料，安全系數為1.9~2.0，保持潮濕條件下2~3個月的混凝土板，能經受一百萬次重複撓曲荷重。

強度安全系數過小，約1.2~1.3時，混凝土板在數千次重複荷重作用下就會損壞。

混凝土路面屬於經久耐用的路面型式。由於機動車輛交通密度每年增加，因此在主要街道上，其中包括負載量最重的街道在內，安全系數不能小於2。在不最重要的街道和可以通行個別類型載重汽車的街道上，允許減少安全系數到1.7、甚至1.6。

由於路面不平整，在接縫處汽車的跳震，汽車行駛時輪胎荷重在雙輪胎之間的重分配和附加應力的影響，在計算混凝土路面時應該考慮到衝擊系數。

全蘇道路科學研究院建議，計算荷載為 H-13 時，衝擊系數為1.2；荷載為 H-18 時，系數為1.15。

混凝土路面的相對變形比柔性路面小得多，僅為數千分之一。蘇聯在採用大直徑承載板的試驗基礎上，確定土壤變形模量計算數值如表62-2所列。

① H. H. 伊萬諾夫等著《公路路面設計》，中譯本，人民交通出版社，1958年版。

混凝土路面下土壤的形变模量 (E_0)

表62-2

土 壤 名 称	E_0 (公斤/平方厘米)	土 壤 名 称	E_0 (公斤/平方厘米)
(颗粒大于1毫米)	800~1000	粉 土	200~250
雜砂土 (亚砂土)	500~ 700	粉質雜粘土 (粉)	
雜粘土 (亚粘土), 粘土	400~ 500	質亚粘土)	

E_0 的较大值适用于Ⅲ~Ⅳ气候区; 较小值适用于Ⅰ气候区, 这时土壤的最佳密实度系数不小于0.98, 误差可以是 ± 0.02 。土壤必须均匀地压实。当土壤均匀沉陷时, 混凝土板内是不发生附加应力的, 板上亦很少出现裂缝。

需要尽量使路基土壤是同一类型, 在混凝土路面上汽车轮胎荷载分配在直径约2.5~3.0米的面积上。假如在这一范围内具有几层不同的土层, 那么应该取 E_0 最小的土层作为计算土壤层。

垫层厚度在15厘米以下时, 不论所取的建筑材料如何, 所增加的当量形变模量 (土壤+垫层) 总共仅10~15%。因而这样不大的当量形变模量的增加, 并不影响板的厚度计算。但当垫层厚大于15厘米时, 这种情况必须在计算时考虑到。

苏联根据苏联国定标准 (ГОСТ8424-57) 制定了建造路面和基层用的道路混凝土的强度 (表62-3)。

各种标号的道路混凝土强度

表62-3

28昼夜正常硬化情况下混凝土标号	基 层			面 层		
	150	200	250	300	350	400
挠曲时的混凝土抗拉强度 (公斤/平方厘米)	25	35	40	45	50	55

在最重要的干道上 (入城干道、过境干道、全市性干道) 的路面, 混凝土标号必须采用不低于50号 (抗挠) 和350号 (抗压)。建造双层式路面的下层允许采用不小于40号 (抗挠) 和250号 (抗压) 的混凝土。混凝土基层的混凝土标号是30号和30号以上 (抗挠) 及200号和200号以上 (抗压)。

在土壤不冻结的地区, 在干燥地段上可以采用25号 (抗挠) 和150号 (抗压) 的混凝土来建造道路基层。

混凝土的弹性模量 (E) 随应力数值而异。当应力接近于混凝土强度范围时其模量值最小。这一数值在计算钢筋混凝土板时可采用, 因为允许在拉

伸部分产生一些裂缝。但混凝土路面很少是加钢筋的，因此不估计混凝土内有裂缝的形成。

苏联道路科学研究院曾在各种标号混凝土弹性形变范围内进行了不加钢筋的混凝土梁抗挠试验。根据试验结果制订了混凝土的弹性模量。在试验时，规定混凝土内的应力不得超过抗挠强度的0.6（表62-4）。

各种标号混凝土的弹性模量

表62-4

混 凝 土 标 号	170	200	250	300	350	400
混凝土弹性模量（千公斤/平方厘米）	160	200	300	350	400	> 400

在城市交通很拥挤的条件下，混凝土强度的增长速度具有重要的意义。强度增长越快，在铺筑的混凝土上开放交通的可能也越早。

关于混凝土铺在路上后3~28天内强度增长的速度，初步可以运用Б.Г.斯克拉姆塔也夫教授的公式（62-1）来考虑：

$$R_n = R_{28} \frac{\lg n}{\lg 28} \quad (62-1)$$

式中： R_n ——到某一时间混凝土的极限抗压强度；

R_{28} ——28天龄期的抗压强度；

$\lg n$ ——混凝土龄期天数的十位对数。

当 $n \geq 90$ 天时，按此公式将得到过大增加的强度值。

这一公式的运用首先是计算抗压强度，然后可用换算系数确定相应的混凝土抗挠强度。

当然，能在施工现场上直接试验那些由采用的材料所制成的梁来了解混凝土强度增长动态的资料是最准确的。

根据技术科学硕士А.И.扎希宾在苏联道路科学研究院的资料，在现场条件下，大多数所观察到的强度增长比实验室内的为小。道路混凝土薄板的表面积很大，在气候条件不适合的情况下会损失大量水分。因此，混凝土铺筑28天后强度的增长很慢。

当然强度的增长要根据水泥结块、水泥浆和粗粒填料表面的附着力、水泥本身的质量等等而定。

假如采用活性弱的混凝土混合料，那么用400~500号硅酸盐水泥制造的混凝土，在挠曲时抗拉强度的增长可以按照表62-5来确定。

活性弱的混凝土混合料的强度增长系数

表62-5

混凝土龄期 (天)	挠曲时相对抗拉强度范围
3	0.25~0.3
7	0.6~0.7
28	0.7~0.75
90和90以上	1.05~1.3

同时混凝土强度增长系数应根据填料的质量和硬化条件而定。只有达到28天强度时才能把混凝土路面开放交通。但有时，特别是在建造混凝土基层时，不得不让自己的筑路车辆往来。此外，还需要在混凝土基层上很快地铺筑黑色路面。在这些情况下，面层和基层的最小强度应该不小于28天抗挠强度的0.65，并且混凝土的抗压强度应该大于140公斤/平方厘米。混凝土强度很小时，表面会产生剥皮现象，因为在汽车行驶时产生水平力。

目前在很多国家里均尽量采用干硬性混凝土混合料的高强度混凝土。使用这种混合料能在正常硬化条件下缩短混凝土硬化时间。此外，使用干硬性混凝土混合料时，混凝土强度的增长比活性弱的混凝土混合料的混凝土来得快。

例如，采用标号为500号的快硬性硅酸盐水泥，水灰比为0.32~0.35的干硬性混凝土混合料，它的相对强度在一昼夜正常硬化的条件下，会达到28天强度的0.40^①，7昼夜后相对强度将提高到0.75。

这样，只要用一般刚度（干硬度）不超过200秒^②的干硬性混凝土混合料，就可以大大缩短混凝土面层和基层开放交通的日期。

假如采用磨细的粉末，则即使用比面为5000~7000平方厘米/克的400号硅酸盐水泥，在正常硬化条件下亦可以得到650~700号（抗压）混凝土。用于干硬性混合料制造的这种混凝土面层和基层，在正常硬化条件下，经过3天的相对强度就能到28天强度的0.70~0.75^③以上。因此使用粉状的，即使是

① B.Γ.斯克拉姆也夫，B.И.索洛凯尔《干硬性混凝土混合料制造高强度混凝土的发展远景》，苏联《混凝土和钢筋混凝土》杂志，1956年第12期。

② 关于混凝土混合料刚度的概念及其确定方法，参看苏联国家标准（ГОСТ 3901-54）和苏联国家建设委员会的指示（V110-56）。

③ 工程师A.烏里揚諾娃《高强度干硬性混凝土的获得》，苏联《建筑材料》杂志，1956年第9期。

400号水泥做的干硬性混凝土混合料，它的强度的增长要比采用活性弱的、特别是比采用塑性混凝土混合料快1~2倍。用蒸汽养护干硬性混凝土混合料，其强度的增长将更快。在蒸汽温度80°C下只要隔4小时就能达到相对强度等于28天强度的0.7~0.75。

因此，使用现代化的混凝土制造工艺过程，加压振动压实和养护，可以大大提高一般标号（400~500）水泥的强度，其增长速度，远比表62-5中的数据为快。此外，亦可以大大地节约水泥，或者提高混凝土的标号，至少较用比面3000平方厘米/克的硅酸盐水泥制造的混合料要大0.5倍。

只要采用比面为5000~7000平方厘米/克的水泥粉末，就可能把混凝土28天的强度提高10~30%，并能大大地加快其硬化过程。

此外，在计算时可以将混凝土90天的抗挠强度提高15~30%，假如它们铺筑在具有对混凝土正常硬化有利的气温和湿度条件的区域内，或者组织较长期的养护。

采用砾石时，混凝土计算强度必须用28天龄期的。

混凝土板厚度的计算

板的厚度用下列方法计算：

1)弹性理论法 无限的混凝土板作为等向的弹性体（苏联学者：Б.Н. 热莫契金，М.И. 高尔布诺夫-巴沙多夫，В.И. 库兹涅佐夫，О.Я. 舍赫捷耳等，以及美国学者威斯特卡尔德）。

2)弹性半空间法 土壤变形模量作为常数（苏联学者 Н.Н. 伊万诺夫，И.А. 额特尼科夫等）。

3)极限状态法 从板的强度和稳定条件，以及板上裂缝出现的可能出发（苏联学者：П.И. 哥列茨基）。

这三种方法所得到的最后结果实际上是一样的，除了偶尔的情况外，混凝土板的计算是从板挠曲时发生的最大允许拉应力出发。最大允许应力应理解为：混凝土在已知荷载重复作用下不损坏的极限。这时混凝土板只经受弹性形变。在重复荷载下，板内形成的不大的残余形变在计算中不予考虑。据此，混凝土板的厚度可按照弹性理论方法计算。可是，土壤应假设为线状形变体（参看§44）。由于从板所传到土壤内的荷载不大，板本身的挠度同样也不大，而且均匀，所以土壤通常可假定为弹性体。

苏联最广泛采用的方法是О.Я. 舍赫捷耳法^①。假定荷重传布到放在弹

^① О.Я. 舍赫捷耳 «布置在有限和无限弹性基层上，和受集中荷重作用的无限基础的板的计算»（不引用齐姆德尔的假说），苏联《桩基础与天然基础》杂志，基础建筑论文集第10集，建筑出版社，1939年版。

性基层上的无限板上。当荷重加在离开板边缘很远处，确定每一单位宽的板上辐射方向和切线方向的弯曲力矩的方程式为：

$$1) \text{集中力 } (P) \text{ 的情况下: } M_{\text{辐向}} = (A + \mu B)P \quad (62-2)$$

$$M_{\text{切向}} = (B + \mu A)P \quad (62-3)$$

2) 在半径为 R 的圆内均布荷重 (h) 的情况下：

$$M_{\text{辐向}} = M_{\text{切向}} = \frac{CP(1+\mu)}{2\pi a R} = \frac{CpR(1+\mu)}{2a} \quad (62-4)$$

式中： μ ——柏桑系数，混凝土的 $\mu=0.15$ ；

A, B ——系数，依 ar 乘积的数值而定；

C ——系数，依 aR 乘积的数值而定；

p ——均布荷重的强度；

r ——到集中荷重位置的距离；

a ——依板的刚度而定的数值，根据弹性理论

$$a = \sqrt[3]{\frac{E_0}{2L(1-\mu_0^2)}} \quad (62-5)$$

式中： E_0 ——土基的形变模量；

μ_0 ——土壤的柏桑系数，等于 $0.3 \sim 0.4$ ；

L ——厚度为 h ，弹性模量为 E 的混凝土板的柱形刚度。

L 直接下式计算：

$$L = \frac{E h^3}{12(1-\mu^2)} \quad (62-6)$$

把 L 值代入公式 (62-5)，和代入 μ 及 μ_0 的具体数值，我们可得到：

$$a = \frac{1}{h} \sqrt[3]{\frac{6 E_0}{E}} \quad (62-7)$$

按照公式 (62-2) ~ (62-4) 确定弯曲力矩时，要采用 A 、 B 、 C 系数的数值。为此，可按照表 62-6 得到与已知比 $\frac{E}{E_0}$ 和 $\frac{h}{r}$ (或 $\frac{h}{R}$) 相对应的各 ar 和 aR 的乘积。知道了 ar 和 aR ，即可用图表找出需要的 A 、 B 、 C 值 (图 62-2 和 62-3)。

同样，在汽车荷重均布在和轮胎等面积的圆面积上的条件下，弯曲力矩值亦可以近似地按 B. Φ. 巴布可夫的经验公式确定：

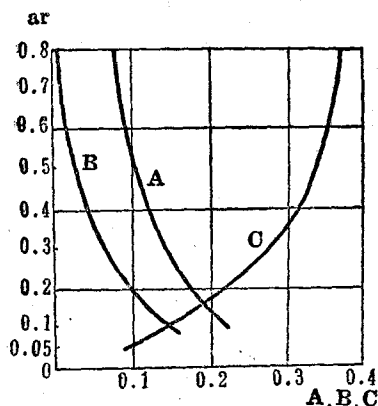


图62-2 确定系数A、B和C的图表

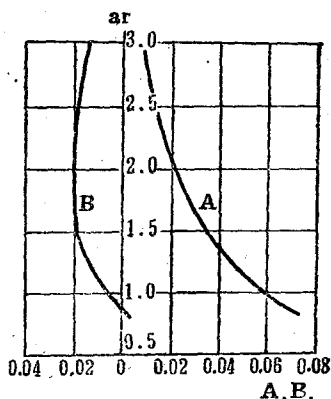


图62-3 当 $ar > 1$ 时，确定系数A和B的图表

$$M_{\text{辐向}} = (A + \mu B)P = [0.06 \sim 0.18 \lg(ar)]P \quad (62-8)$$

$$M_{\text{切向}} = [0.05 \sim 0.20 \lg(ar)]P \quad (62-9)$$

假如汽车荷重按圆面积作用时，那么板中心的弯曲力矩等于：

$$M_{\text{辐向}} = M_{\text{切向}} = \frac{P(1+\mu)}{4\pi} \left(\ln \frac{1}{a} + 0.616 \right) \quad (62-10)$$

式中：a——参看公式(62-7)； μ 和P和前述的含义相同。

要求计算在压路机、多轮胎压路机或者履带式压路机的荷重作用下的混凝土板，须要以作用在面积中心的集中力代替轮胎面积上的压力(图62-4a)，并且必须综合集中力所发生的应力。

这时作用于已知点的弯曲力矩，将决定于所有由集中力 $\odot$ 发生的辐向和切向力矩的几何总和，即：

$$M_{\text{弯曲}} = M_{\text{辐向}} \cos^2 \alpha + M_{\text{切向}} \sin^2 \alpha \quad (62-11)$$

式中： α 是由计算力矩的方向轴线和联接力作用点与要确定应力点的线所形成的角。假如 $\alpha < 20^\circ$ ， $\sin^2 \alpha$ 则很小，这样就可以仅计算辐向力矩的总和。

必须估计其他轮胎对主要的计算力矩的影响，这个问题可以运用相应的系数(参看图62-4b)解决：

① A. K. 畢魯利亞 «公路設計», 1953年, 莫斯科版。

O.R. 舍赫捷耳公式中 ar 和 aR 的乘积

$\frac{h/r}{E/E_0}$	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1
2000	0.072	0.080	0.090	0.103	0.120	0.144	0.180	0.240	0.288	0.360	0.480	0.720	1.440
1500	0.079	0.088	0.099	0.114	0.133	0.159	0.198	0.285	0.318	0.397	0.530	0.795	1.590
1200	0.085	0.095	0.107	0.122	0.143	0.171	0.214	0.285	0.342	0.427	0.569	0.855	1.710
1000	0.091	0.101	0.114	0.130	0.152	0.182	0.227	0.304	0.364	0.454	0.605	0.910	1.820
800	0.098	0.103	0.122	0.140	0.163	0.195	0.244	0.326	0.390	0.487	0.650	0.975	1.950
600	0.108	0.120	0.135	0.153	0.181	0.216	0.270	0.360	0.432	0.540	0.720	1.080	2.160
500	0.114	0.127	0.142	0.163	0.191	0.228	0.285	0.331	0.456	0.570	0.760	1.140	2.280
400	0.123	0.137	0.154	0.176	0.206	0.246	0.308	0.410	0.492	0.615	0.820	1.230	2.460
300	0.135	0.151	0.169	0.194	0.226	0.271	0.338	0.452	0.542	0.677	0.902	1.355	2.710
200	0.155	0.172	0.194	0.222	0.259	0.310	0.387	0.512	0.620	0.775	1.033	1.550	3.100
150	0.171	0.190	0.214	0.244	0.285	0.342	0.428	0.570	0.684	0.860	1.137	1.710	3.420
100	0.195	0.216	0.244	0.279	0.326	0.390	0.487	0.650	0.780	0.975	1.300	1.950	3.900
80	0.210	0.233	0.262	0.300	0.351	0.420	0.525	0.700	0.840	1.050	1.393	2.100	4.200

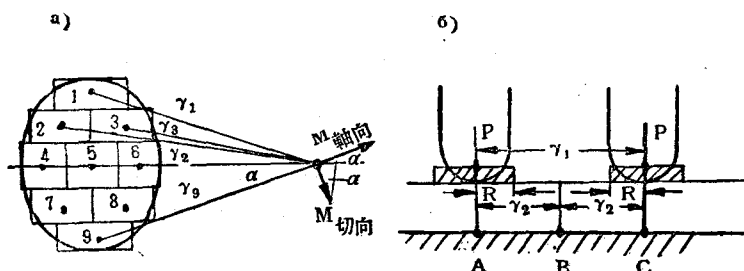


图62-4 确定板内弯曲力矩的示意图

a- 将轮胎面积划分为许多小块，根据这些小面积上所均布的荷重所折算成的等量集中荷重来确定板内的弯曲力矩；b- 根据双轮胎的影响，来确定板内的弯曲力矩

在 A 点上

$$K_A = \frac{M_{\text{轴}} + \sum M_{\text{集中力}}}{M_{\text{圆}}} = 1 + \frac{1 + \frac{3}{n} \sum_1^n \lg ar}{1 + 3 \lg aR} \quad (62-12)$$

在 B 点上

$$K_B = \frac{2 \left(1 + \frac{3}{n} \sum_1^n ar \right)}{1 + 3 \lg aR} \quad (62-13)$$

式中： n ——按轮胎面积划分的等量小块面积的数量；

r ——离这些小块面积重心的距离。

这些公式对 A 点当 $r < aR$ 时，才适用。

知道了作用外力的弯曲力矩总和 ($\sum M$)，即可以按下列公式算出混凝土板 (宽 1 米) 在弯曲时板内所产生的拉应力：

$$\sigma = \frac{6 \sum M}{h^2} \quad (62-14)$$

用允许应力 ($\sigma_{\text{дон}}$) 代替上述公式的实际应力 (σ)，即可用它来确定板的要求厚度 h 。假如轮胎在板中心的话，

$$h = \sqrt{\frac{6 \sum M}{\sigma_{\text{дон}}}} \quad (62-15)$$

分子中包括按作用于圆中心计算的弯曲力矩的总和，圆的半径为 R ，圆

內均匀地分布着传送到按面积等于一对輪胎的輪迹的荷重。

但是，輪胎在板邊緣，特別在板角时，混凝土板上所产生的应力数值总是比輪胎在板中时要大。

在計算中以基础作为弹性体，而土壤的形变模量則为 E_0 。所以要在理論上解决在弹性半空間体上的混凝土板的問題对于荷重在板边或者在板角上的情况來說是很困难的。

通常运用不太准确的計算弹性基层上板的方法。根据福斯-文克列尔的假說，認為板或梁下土壤的沉陷和作用于該点的垂直压力（不考虑側压力）成正比。

这一比例通常称为基床系数“ K ”，单位是每一厘米上的公斤/平方厘米。

美国学者威斯特卡尔德^①建議采用大家都知道的下列公式，来确定当荷重在下列三种情况下，板內的最大拉应力：

1) 在板中央：

$$\sigma_1 = 0.275 (1 + \mu) \frac{P}{h^2} \lg \frac{Eh^3}{KR^4} \quad (62-16a)$$

2) 在板边：

$$\sigma_2 = 0.529 (1 + 0.54\mu) \frac{P}{h^2} \left[\lg \left(\frac{Eh^3}{KR^4} \right) - 0.71 \right] \quad (62-16b)$$

3) 在板角：

$$\sigma_3 = \frac{3P}{h^2} \left\{ 1 - \left[\frac{12(1 - \mu^2)K}{Eh^3} \right]^{0.15} \left(R \sqrt{2} \right)^{0.6} \right\} \quad (62-16B)$$

式中 K 是基床系数，其他的和以前一样；最后二个公式在 $\frac{h}{R} \geq 0.5$ 时才适用。

在沒有側石、且荷重均布在直径和板边相同的半圓上时，公式(62-16b)才适用。具有側石时，板內的应力在輪胎处于板角的情况下达到最大。实际上，当輪胎位于板角时的应力比用公式(62-12B)理論算出的数值要大些。在自然条件下产生板的翘曲，同时由于路基土壤过分潮湿，或者垫层材料不良的結果，混凝土板在接縫处，特別是在板邊緣，并不完全搁在垫层上，从而在接縫处常观察到翻浆現象，而在板的角上产生較大的应力。在接縫內設有传力杆和垫块等时，应力的数值可以用下面的半經驗公式确定：

① Westergaard H.M. «Stresses in concrete pavements computed by theoretical analysis» Public Roads, April, 1926.