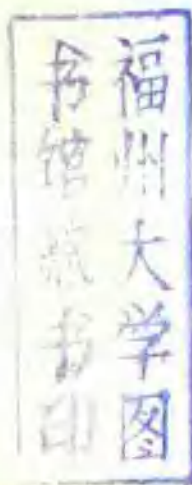


技术资料

(内部资料 注意保存)

“刚性路面设计”



中国人民解放军

国防科委工程设计所

一九七九年六月

本资料译自《路面设计原理》(第二版)一书中第十七章“刚性路面设计”，该书是(美)E. J. Yoder和M. W. Witczak合著的。文中引用本书以及其他章节的有关内容，也一併译出，编为附录，附在正文之后，以供查阅。

全文承交通部公路规划设计院黄邦本同志审核，谨表谢意。

由于译著水平有限，有不妥和错误之处望同志们指正。

赵 逢 波

1970.9

目 录

第 10 章 刚性路面设计	1
设计的发展	1
试验路	3
混凝土路面的类型和定义	6
设计参数	7
荷载应力	7
板厚设计	9
接缝和钢筋要求	18
接缝	20
荷载传递方法	22
连续配筋混凝土路面	25
引道板	31
路基和底基层	32
滑模铺筑法	35
结 论	36
习 题	36
参考文献	38
附 录	40

第十七章

刚性路面设计

[美] E. J. 约德 和 M. W. 威克扎克

混凝土路面常被称为刚性路面，是由水泥混凝土做成，在路面与路基之间可设基层，也可不设基层。一般说来，基层除外的混凝土层称为路面。

混凝土路面，因其刚度和弹性模量甚高，能使作用荷载分布在一个较大范围的土基上，因此，大部份承载能力是由混凝土板自身承担的。这方面与柔性路面恰成明显对照，因为柔性路面的强度是靠修建较厚的底基层、基层和面层来提供的。正是由于混凝土板是这样产生承载能力的，所以，在混凝土路面设计中所考虑的主要因素是混凝土本身的强度。从这一角度来看，路基和基层强度的微小变化，对路面的结构能力的影响不大。

用于刚性路面的基层，常称之为底基层。刚性路面下采用底基层的原因有：(1)控制泵唧作用；(2)控制冰冻作用；(3)起排水作用；(4)控制路基土的膨胀与收缩；(5)加快施工速度。（※注见2页下面）

设计的发展

在早期的公路工程中，刚性路面板不考虑路基类型和排水情况而直接浇筑在路基上。通常采用6英寸或7英寸的等厚板。随着卡车数量的增加，特别是第二次世界大战之前，路基类型显然对路面性能有很大影响。其实，早在1932年就阐述过路面的泵唧作用。防止泵唧作用是设计时要考虑的最重要的因素之一，这一类，在本章的后面还将讨论。

在1930~1940年间，建筑厚边式断面也并非罕见，例如，采用的8-6-8式断面，即表示板中厚6英寸，板边厚至8英

寸，厚边式断面是为提高路面边缘强度以增加抵抗该处高应力的能力的。而那时，路面宽度多为18~20英尺，其结果，重车紧靠路面边缘行驶。

在某些主要干道上，特别是在东部一些州的干道上，出现了严重的路面泵唧作用。之后，刚性板浇筑在不同厚度的粒料基层上，以克服由于泵唧作用而失去路基承载力的问题。对影响泵唧作用的各种因素进行了一些调查研究，同时改进了克服泵唧作用的基层设计标准。路面厚度逐渐增加，9~10英寸的等厚式路面被普遍采用。

第二次世界大战后，许多州都批准了收税通路的建筑，以满足增设高速公路的迫切需要。绝大多数的收税通路普遍采用了10英寸厚的刚性板，有一个刚性路面设计演进的例子很说明问题：最初的宾西法尼亚收税通路用9英寸的等厚平板直接铺筑在路基上，大约十年后，路面因泵唧作用而严重损坏。因此，当后来这种收税通路延伸时就做了6英寸厚的升级版基层，等厚板也增至10英寸。

多年来，北部大多数州为防冰冻而故意设置了较厚的基层。幸好，大多数有冰冻作用问题的州都有丰富的冰川拉料，可为修建较厚的基层提供充分的石料。这个事实也迫使了许多州在某些冰川作用严重的地区修筑柔性路面。

上面简述了美国刚性路面设计的进展，意欲表明交通总重和施加荷载次数对所需厚度的影响，当代，刚性路面设计理论几乎都是在混凝土板下采用不等厚的粒料基层。关于板厚，美国各州不尽相同，板的尺寸和钢筋数量，差别就更大。

※ 或称为唧泥——译注

试 验 路

马里兰试验路

1949年，由美国公路研究所指导下的区域间公路运输委员会提出了一个科研项目，以探讨各种车轮荷载对刚性路面性能的影响问题⁽⁷⁾。在位于马里兰州美国 301 号公路上的一段 1.1 英里的刚性路面上进行了加速车辆试验。路面由 9-7-9 英寸的横断面组成，缩缝间距 40 英寸，胀缝间距 120 英尺。横缝设置传力杆，其直径为 3/4 英寸，中距 15 英寸；拉杆长 4 英尺，间距 4 英尺，设在纵向企口缝上。路面设置钢筋网。

试验的目的是测定各种轴荷载及其相互作用对刚性路面损坏的影响。试验采用的荷载，单轴用 18,000~22,000 磅，双轴用 32,000~44,000 磅。

根据试验结果，22,400 磅单轴荷载所引起的开裂是 18,000 磅单轴荷载所引起开裂的 6.4 倍。尽管遇到一些粒料，但是，试验路路基基本上是由 A-6 粉质粘土所组成。记录表明，当通过 200 号筛孔的材料含量少于 9% 时，粒料路基的路板上无泵唧作用。

试验还把由双轴引起的路面损坏和由单轴引起的损坏加以对比。结果表明，双轴和单轴的导致取决于荷载的横向位置和路基类型。

试验结果指出，开裂的发展肯定地与泵唧作用有关。同样，试验数据表明，泵唧作用在胀缝处特别严重。填挖路段均容易产生泵唧作用，但另一方面，挖方路段比填方处开裂得要严重些。在出现泵唧破坏的接缝处进行应力测定表明，泵唧作用及所引起的路基承载力的丧失，导致路面应力的增加。试验表明：间距为 50~55 英寸的双轴与（分开的两根）单轴的作用不同。对速度的影响问题也做了研究，结果指出，车速为 40 英里/时时

应力和弯沉值大致比爬坡速度时少 20%。

温度和翘曲，对试验路上的应力和弯沉具有很大的影响。在自偶荷载条件下，翘曲的作用最大。

公路研究所在这条试验路段上累积的资料是非常重要的。它强调了在刚性路面设计中必须予以考虑的某些因素。在塑性粘土中会出现泵唧作用。然尔，在粉土和粘土含量百分率很低的粒料路基上就没有泵唧现象，这一类很重要。可以认为，试验现场的路基类型和试验路面的设计，对美国的刚性路面有典型意义，因此，其结果能普遍推广。

美国各州公路工作者协会 (AASHO) 试验路。

AASHO 试验路，是 1950 年在 (美国) 伊利诺斯州的沃太岸附近修建的。这次通路试验的主要目的是确定交通量对混凝土路面和沥青路面性能的影响。在通路试验中，做了多种试验，还包括各种桥型的试验及材料力学性能的基本研究等。

这次实验是一种因子试验，试验中修筑了不同厚度的路面，上面行驶的卡车既有单轴又有双轴。最重要的研究成果之一是有关路面耐久性的研究成果 (参考第 19 章关于耐久性的定义——见附录一)。其他重要的成果，尚有耐久性的变化和重复荷载两者间的关系，试验导出了重复荷载与耐久指数变化的关系式，图 17.1 画出了这一关系。公式 17.1 和公式 17.2 是 AASHO 通路试验中所提出的混凝土路面基本公式：

$$\beta = 1.0 + \frac{3.63(L_1 + L_2)^{5.20}}{(D+1)^{8.46} L_2^{3.52}} \quad (17.1)$$

$$P = \frac{10^{5.85} (D+1)^{2.35} L_2^{3.28}}{(L_1 + L_2)^{4.62}} \quad (17.2)$$

式中： L_1 ——单轴或双轴荷载（千磅）

L_2 ——每组中轴数；

L ——板厚（英寸）

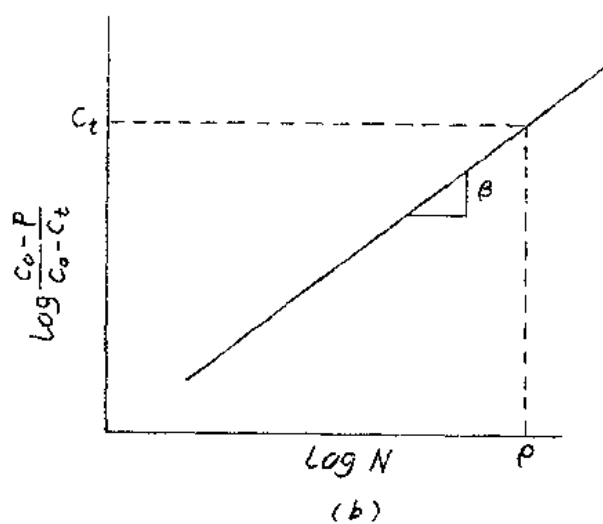
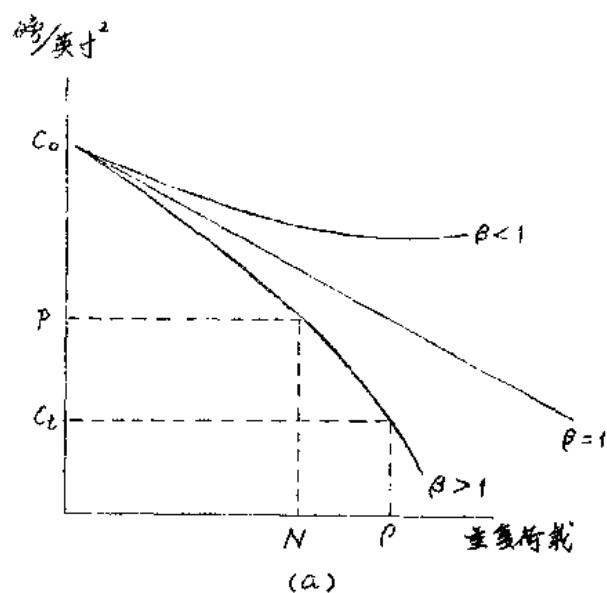


图 17.1 重复荷载和耐用性的关系 (AASHO 道路试验)

图 17.1(a) 中应注意重复荷载和耐用指数两者间的联系，如公式 17.1 所示取决于 β 项。此外，该路面破坏不能使用的最后一次重复的荷载，用 P 来表示，其值由公式 17.2 算出。

AASHTO道路試驗中，最終耐用指數可取15，而最初耐用指數始終是小于5.0。

圖17.1(b)所示的關係圖式，既可用于設計，也可用來估計混凝土路面的性能。如果任何時刻的耐用指數為已知的（由路面平整度儀、斜度驗平儀等測定），同時，把測得的耐用值與這一時間止所積累的荷載重復次數一起畫出來，則路面達到最終使用階段時的垂復荷載次數可由圖中斜率 β 的延長線估算（見公式17.1）*。

混凝土路面的類型和定義

本書打算將混凝土路面分為三種基本型式，(1)素混凝土路面，(2)簡易配筋混凝土路面，(3)連續配筋混凝土路面。

圖3.8（第3章——見附錄二）和圖17.6顯示了考慮中的三種路面型式的圖形。素混凝土路面，是在裂縫控制和傳遞荷載中均不用鋼筋（縱縫處除外）。這些路面須有較密的縮縫間距，在有些情況下，這些縮縫可以斜穿路面（參看圖3.8d和圖17.6）。甚至，即使把素混凝土路面稱為“無配筋路面”，可在縱縫處亦常常應用鋼拉杆，以防止縫的擴張，並容許其做成企口的形式。而且，有時還要採用傳力杆，這在以後的段落還要討論。

簡易的配筋混凝土路面，通常有相當寬的縮縫間距，一般地，用傳力杆構成了通過該縫而傳遞荷載的設備。如圖3.8和圖17.6所示，為控制開裂在兩縫間（的板中）採用了鋼絲網。用不用鋼絲網，與傳力杆無涉，而主要是取決於兩縫之間的距離。

* 在第20章中將討論路面鋪筑的方法，這些方法部分取決于可使用狀況。

关于这一方面，在本章的后一部分还要详细说明。

连续配筋混凝土路面，具有相当高的含筋率（0.6%或更高），仅有胀缝及施工缝而无其他接缝。

混凝土路面下的基层，通常被视为底基层。这些术语常常是可以互换的，读者应记住，两者皆属于混凝土板与路基之间直接的过渡层。

设 计 参 数

本文考虑的设计参数主要有以下三组：

1. 荷载应力、路基模量、疲劳、垂直荷载和板厚设计。
2. 路基影响、泵唧作用处理和排水设计。
3. 约束移动、填缝及钢筋设计。

荷 载 应 力

刚性路面是由浇筑在路基或基层上的混凝土薄板组成的。“路面—基层—土基”结构的承载力大部分由路面的“板体”来完成的。

因种种理由，包括控制泵唧作用和冰冻作用、解决排水和结构改进问题，刚性路面下需采用基层。

由于混凝土板是路面结构的主要部份，因此，混凝土路面中的应力一直为许多研究者所密切关注。刚性路面中的应力是由于下列原因所引起的，包括路基和底基层的不均匀沉降、阻止温度变化、湿度变化和车轮荷载。

路基模量

铺在软弱地基上的刚性板，在荷载作用下，或由于弯翘和卷曲，将发生不均匀地弯沉，其应力的大小为弯翘后版的曲率半径的函数。

由于荷载作用下板的弯沉，因此，它在板和支承介质之间引起反作用压力。一般地，假定反作用压力数值与弯沉大小成一直线关系。路基的反力大小取决于其自身的应力—应变特性。

和路基的反力有关的这个假定，是值得进一步探讨的。如图 3.2（第三章——见附录三）所示，路基中实际的荷载—弯沉关系通常是非线性的，但是，仍假定这关系是线性的，而其模量单位却是磅/英寸³。基地反力系数 k 常被叫做“弹性系数”，也有不少人常称其为“稠液”系数。

地基反力系数由承载板试验的方法确定。这种试验是很费时间的，除特殊情况外，一般路面设计很少做它。系数 k 的取值范围见下表，这些数据已为路面设计的实践所肯定。

土壤类别	k (磅/英寸 ³)
塑性粘土	50 ~ 100
粉土和粉质粘土	100 ~ 200
砂和砾石土	200 ~ 300
砾石	300 以上
水泥处理基层和沥青处理基层	400 以上

有人建议，可对特定地区的现有承载板试验结果进行分析来求出特定土壤的地基反力系数值。混凝土路面厚度对这反力系数是不太敏感的，而采用其平均值也就可以了*。

*读者可参见本书有关确定地基系数方法的其它部分。第 7 章中的表 7.4（见附录四）给的是美国统一土分类法。该表的最后一栏给出了以土类为基础的地基系数推荐值。由于该系数在路面分析中不太敏感，因此，在一般情况下，用该值确定路面厚度对大多数设计问题也就满足要求了。另外，第 16 章中的图 16.15（见附录五）给出了不同厚度的基层的模量变化。这些均可作为设计时的推荐值。

弯折模量

刚性路面的容许应力是由梁的断裂和弯曲试验确定的。弯折模量可理解为破坏荷载作用下的极限应力。其值可由弯曲公式确定：

$$MR = \frac{Mc}{I} \quad (17.3)$$

由于公式 17.3 仅适用在混凝土的弹性范围以内，因此，由其确定的弯折模量并不是很精确的。同时，弯折模量值在一定程度上也随着截面尺寸大小及荷载作用方式而变化。只要有可能就应采用标准程序。在厚度计算中，根据混凝土超过其标准养生时间而强度逐渐增加的特性，一般习惯用 90 天模量或 28 天模量的 110% 左右*。

板 厚 设 计

疲劳

由理论得出的应力值是对静载而言，要将其用于设计，还必须加以修正，以适应重复荷载作用。

假如受到弯曲的反复作用，则混凝土能承受的荷载重复次数将取决于荷载的大小。在混凝土路面设计中，采用混凝土在重复弯曲时的疲劳值。在下边将要讨论的波特兰水泥协会的设计方法就是以混凝土的疲劳特性为依据的。

素混凝土，只要极限应力不超过静力弯折模量的 50%，通常就能经受无数次的重复应力。对于再高的应力数值，混凝土能承受的重复荷载次数就少一些。一般地，数据是用应力比的形式提出，而这些数值，是用以修正根据静载确定的板厚。

*详见第 16 章《机场跑道》中关于弯折模量的详细阐述（见附录 6）。

波特兰水泥协会法

在威斯特卡德所推导的应力分析方法的基础上,波特兰水泥协会提出了另一种混凝土路面设计方法。在这种方法中,板厚取决于重复荷载的大小和次数、弯折模量及地基反力系数。

公路与城市道路中的板厚设计采用28天的弯折模量数值。如若因弯折模量所设计的板在邻近地区有良好的性能,同时又注意了防止施工机械行驶而使路面的早期破裂,那么采用90天的强度对道路也是适用的。通常,根据弯折模量进行设计,其值(MR)取28天强度的110%。

混凝土路面的厚度对路基支承模量是比较不太敏感的,当然,很弱与很强的路基相比时例外。地基反力系数的推荐值在本章的前面已列出,这些值能够直接用于大多数路面的设计中而无需现场测定。

在波特兰水泥协会方法中,采用应力比计算混凝土路面的疲劳。路面中,实际应力与弯折模量之比,称为应力比(见16章中的表16.1),其值也列在表17.1中。如果应力比小于0.51,试验和实地运行证明,混凝土将能经受无数次的重复应力而不破坏。

表17.1 各种应力比的允许荷载重复次数^①

应力比 ^②	允许重复次数	应力比	允许重复次数
0.51 ^③	400,000	0.60	32,000
0.52	300,000	0.61	24,000
0.53	240,000	0.62	18,000
0.54	180,000	0.63	14,000
0.55	130,000	0.64	11,000
0.56	100,000	0.65	8,000
0.57	75,000	0.66	6,000
0.58	57,000	0.67	4,500
0.59	42,000	0.68	3,500

0.69	2,500	0.78	210
0.70	2,000	0.79	160
0.71	1,500	0.80	120
0.72	1,100	0.81	90
0.73	850	0.82	70
0.74	650	0.83	50
0.75	490	0.84	40
0.76	360	0.85	30
0.77	270		

①引自波特兰水泥协会。

②荷载应力除以弯折模量。

③当应力比 ≤ 0.50 时，重复次数不限。

在这种设计方法中，有必要对交通增长情况作一大概的估计，这种资料可以从交通量统计中取得。

建议在路面中的实际车轮荷载增加一个20%的系数，这个增加是因冲击荷载的增加，同时也由于设计时考虑了一个安全系数。

为便于设计应用，交通量轴载组合分表，路面假设厚度的应力，则由图17.2和图17.3确定。求出每种荷载的允许重复次数后，将其与路面使用期间会碰到的重复数相比较，然后确定每种荷载能允许重复的百分比，最后把这些百分比加起来。理论上，如果这些百分比的总数小于100%，那么，这设计是正确的。虽然，经验表明，在一般情况下该值可以接近125%而不出大问题，但采用如此大的数值是危险的。

设计示例 17.1 (波特兰水泥协会法)

为进一步说明这一设计法，试考虑以下例题。直接下列条件研究混凝土路面设计：

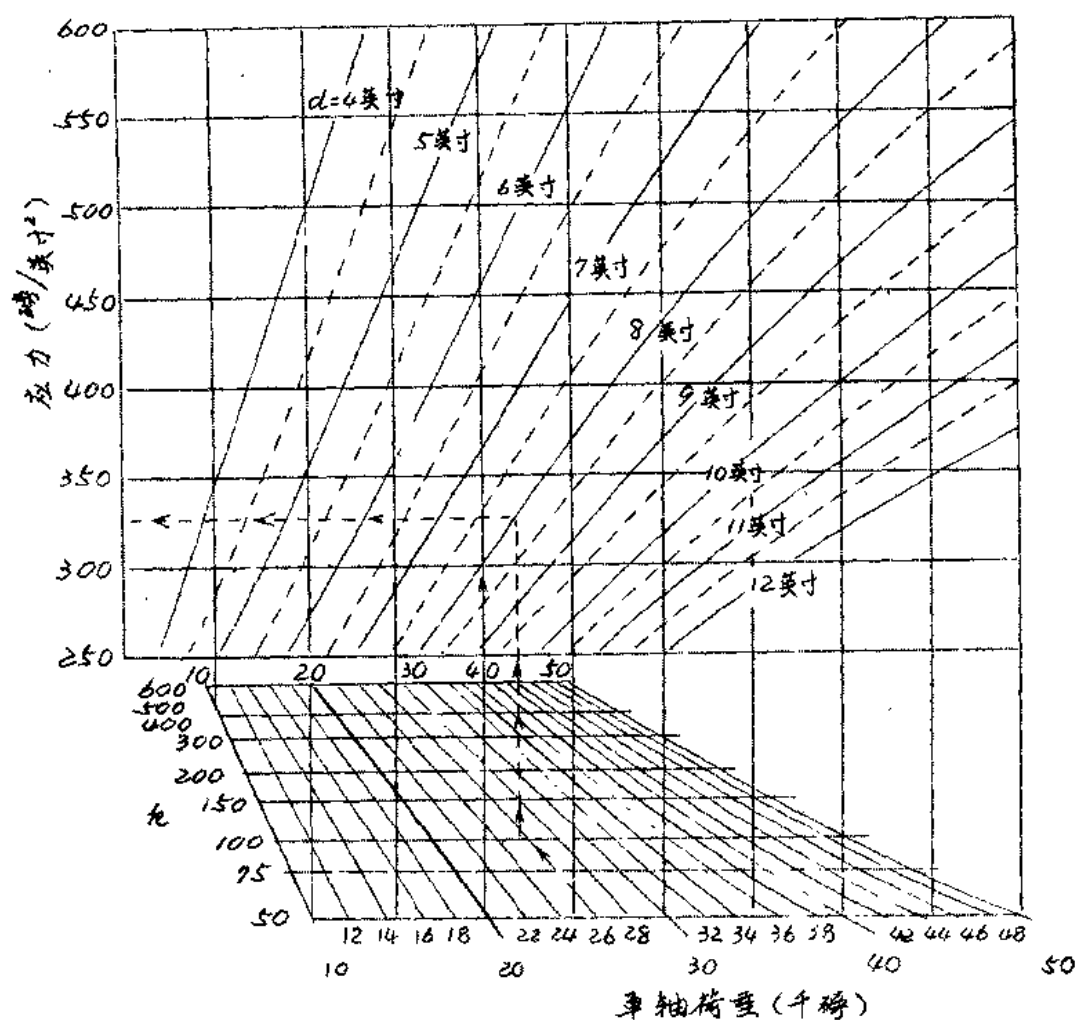


图 17.2 单轴车设计用图 (摘自波特兰水泥协会)

交通量: 平均每日交通量 (双向), 400 辆/日

卡车: " " 的 20%

年增长量: 2%

卡车分配: 见表 17.2

表 17.2 车轴分布表

轴荷载组合 (千磅)	路上每 100 辆车的轴数	
	单轴	双轴
12 - 14	8.0	
14 - 16	7.3	

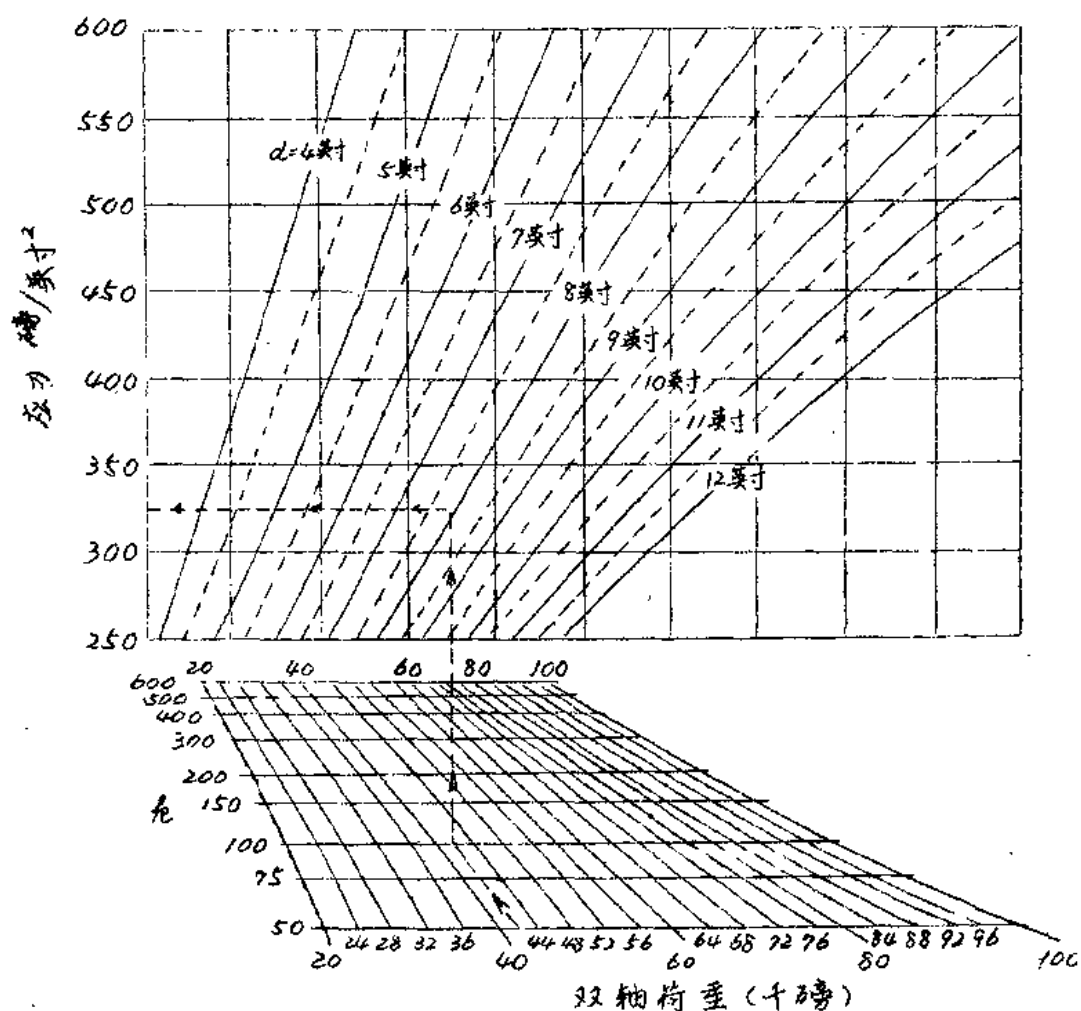


图 17.3 双轴卡车荷载的设计用图 (摘自波特兰水泥协会)

续表 17.2

16-18	6.1	
18-20	5.4	
20-22	3.2	5.2
22-24		7.6
24-26		8.4
26-28		9.0
28-30		11.2
30-32		9.4
32-34		1.8

续表 17.2

轴荷载组合 (千磅)	路上每100辆车的轴数	
	单 轴	双 轴
34—36		1.4
36—38		0.9
38—40		1.0
40—42		0.1
42—44		0.1
44—46		0.1

波特兰水泥协会法在估算路面设计寿命期间的总交通量时采用了两种方法，第一种方法是以表 17.3 中的设计参数为依据的，第二种方法是在公路通行能力的基础上，以总交通量的估算为依据。对于这一例题，使用表 17.3 中所列出的设计参数。因此，对能满足 40 年的使用寿命所要考虑的卡年总数为：

$$\frac{(0.20)(400)(1.5)}{2} = 60 \text{ 辆/日 (单向)}$$

表 17.3 每年的交通量增长率及相应的设计参数²

每年的交通量 增长率 %	寿命为 20 年时的 设计参数 ^b	寿命为 40 年时平均 设计参数 ^c
1	1.2	1.2
1½	1.3	1.3
2	1.5	1.5
2½	1.6	1.7
3	1.8	1.9
3½	2.0	2.2
4	2.2	2.5
4½	2.4	2.8
5	2.7	3.2
5½	2.9	3.6
6	3.2	4.1