

274358

基本館藏

# 钢轨基礎的研究

唐山鐵道學院鐵道系編

成都工學院圖

人民鐵道出版社

# 鋼軌基礎的研究

唐山鐵道學院鐵道系編

人民鐵道出版社

一九六〇年・北京

本書為唐山鐵道學院鐵道系的研究生們，在蘇聯專家Г. Б. 斯柳格杜莫夫同志的指導下，一年多來進行的新型鋼軌基礎、彈性扣件和新材料軌枕等專題的研究成果。對研究新型鋼軌基礎有一定參考價值。

本書可供工務部門工程技術人員、科學研究工作者和高等學校專業師生參考。

### 鋼軌基礎的研究

唐山鐵道學院鐵道系編

人民鐵道出版社出版

(北京市書局17號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第010號

新華書店發行

人民鐵道出版社印刷廠印

書號1645 開本787×1092 書印張14 3/4 插頁5 字數326千

1960年4月第1版

1960年4月第1版第1次印刷

印數0001—1,500冊 定價(7)1.40元

## 前 言

唐山铁道学院铁道系线路教研组部分教师和研究生，以及湖南大学（前长沙中南土建学院）两位进修教师，在苏联专家 Г.Е. 斯科洛杜莫夫同志的亲切指导下，自 1958 年开始进行了一系列有关新型线路结构的研究工作，现写出了研究报告十余篇，彙集成册，整理出版。

本研究报告集中还包括了几篇有关现有线路结构的报告。

新型轨道基础较之现有线路上部构造有着很大的优越性，急待大力进行研究和推广。但是，由于我们的能力所限，加之人力不足，缺乏试验设备，截至目前为止，在这方面所作的研究工作还不成熟，因此，研究报告中的某些论据可能不够充分，某些数据也可能不够精确，还请广大读者不吝指正。

唐山铁道学院铁道系

# 目 录

## 前言

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 铁路线路结构发展的新方向.....      | 1   |
| 钢筋混凝土轨枕.....           | 5   |
| 用长短轨枕混合铺设的线路.....      | 41  |
| 新型轨道基础及其在线路上工作的情况..... | 54  |
| 中苏二型及中苏三型整体道床.....     | 95  |
| 刚性连续基础上线路的爬行及其防止.....  | 114 |
| 无缝线路.....              | 126 |
| 无缝线路轨节断裂时保证行车的措施.....  | 150 |
| 纵向轨枕.....              | 158 |
| 新型弹性扣件.....            | 184 |
| 用于干线的整体道床.....         | 196 |
| 新材料轨枕.....             | 202 |
| 窄轨铁路的新型钢轨基础.....       | 224 |
| 提高道岔侧向通过速度问题的研讨.....   | 236 |

# 鐵路綫路結構發展的新方向

Г.Е. 斯科洛杜莫夫

在社会主义生产方式下，铁路运输工作的最大特点，就是綫路的貨运量、貨运密度以及列車运行速度的迅速增長。貨运量的增長是由于工农业总产品的急剧增長所引起的；而行车速度的增大則是降低铁路运输成本的主要因素之一。

中华人民共和国 1959 年營業鉄路的貨运密度（每年每公里通过的貨运吨公里数）已經达到七百万吨以上，將比 1949 年增加八倍。今后必將迅速增長。列車的运行速度，某些干綫現在已达 100 公里/小时以上。

显然，这些新的条件对整个运输工作，尤其是对綫路工作会發生影响，并对綫路的結構提出新的、更高的要求。那么，这些新的因素（貨运密度和行车速度）对綫路究竟會發生那些影响呢？为使綫路結構适应新的工作条件，对它們应提出那些要求呢？

根据理論及实践方面的研究，可以肯定：綫路上部構造各部分，如鋼軌、軌枕的机械磨損及道碴的永久变形的积累（或称为磨損），都是和該綫路的通过吨数成正比的。因此，貨运密度愈大，綫路的磨損与破坏亦愈快，經常保持綫路于完好状态所需要的工作量亦愈大。然而，进行这些工作的時間，却愈来愈少。当兩列車的間隔時間縮至很短时，則甚至最簡單的綫路工作，也將感到有很大困难。

由此可以清楚地看出，較高的貨运密度，要求鉄路綫路尽可能地耐久和便于进行各种修理工作，即不使經常維修及更換綫路的个别部件就誤列車的运行。

列車运行速度对綫路状态的影响更大。在現有綫路結構方面，提高行车速度会增加綫路各部件內的应力和磨耗，并加速綫路的破坏。随速度增加而产生的附加力以及其各种不良后果的原因，就是在綫路与機車車輛走行部分上有着許許多多各种各样的不平順。最严重的不平順發生在鋼軌的接头处，其次是綫路在平面上和縱断面上与设计位置的偏差（虽然是在允許范围之內），木枕的彈性不均等性，枕間不平順、極微不平順等。当車輪通过不平順地段时，就会产生慣性力，表现为从車輪傳到鋼軌上的靜力以外的附加动力，該附加动力的大小与行车速度、綫路的剛性及不平順的程度有关。由此可以設想，若綫路是沒有一处不平順的理想綫路，則很明显，即使綫路是絕對剛性的，也不致引起附加的动力作用，亦即这样的綫路对速度的变化是不敏感的。然而，理想的平順綫路在自然界中是沒有的；同时，在機車車輛的走行部分上也还存在一定的不平順，因此，應該力圖减少不平順的数值。此外，为了减少未能消除的不平順的动力作用，还应使綫路沿其全長具有所需的勻等彈性。

以上就是新的运营条件对綫路結構所提出的基本要求。

世界各国的学者和現場工作人員都在致力于使現有結構适应新的要求这一工

作。近一时期在这方面的主要措施是鋪設和推广無縫綫路，加大鋼軌重量和改進其質量，增加綫路單位長度上軌枕的數量，以及過渡到鋼筋混凝土枕。

所有上述各項措施都能減少綫路對速度的敏感性，並能在某種程度上延長結構的使用期限。

按照解決這些問題的总的方向，唐山鐵道學院綫路教研組於1957年開始了研究“無縫綫路”及“鋼筋混凝土枕”等題目。關於無縫綫路中個別問題的解決方案及所研究出的用以扣着折斷鋼軌的防護裝置，在本書中高宗榮所寫的“無縫綫路”和“無縫綫路軌節斷裂時保證行車的措施”兩篇文章里作了敘述。

在中華人民共和國，目前由於木枕的生產尚不能滿足社會主義建設事業日益發展的需要，因此，採用礦物性鋼軌基礎和軌枕來代替木枕，就顯得特別重要了。在王遠清的文章里分析了現有的鋼筋混凝土軌枕結構，並介紹了所設計的更為合理的新型軌枕。為了降低各種設計結構的造價，在楊少文同志所寫“新材料軌枕”一文中敘述了用硅酸鹽、礦渣混凝土等材料製造軌枕的問題。對運用廉價的礦物性材料和節約水泥等方面有一定價值。

在王世韻的文章里，提出了軌枕與軌枕短塊混合鋪設的合理佈置圖，這些種佈置圖可以用在站綫上、行車速度不高的綫路以及工業運輸的專用綫上。

如果分析一下世界各國對加強現有綫路結構及使其適應新的運營條件的措施時，就會看出，今後綫路結構的發展方向不應該是加強，而應該是從根本上改變這些結構。

現有結構的基本特點（或者說是缺點）是：

1. 上部構造各部件，從使用期限方面來看，其佈置是不合理的。愈是位於下面的不易更換的上部構造的某些部分，其使用期限愈短。這就使得綫路修理工作更加困難，並使機械化施工複雜化。
2. 軌枕的支承面積比較小，將使道碴表面發生相當大的應力，永久變形的積累也將加速。軌枕支承面積的形狀不合理。軌枕間具有軌枕盒，因而易使軌枕下的道碴擠出。這一點在高速行車下尤為顯著。
3. 在高速行車下，由於基礎的變形落后於作用的荷載而使基礎的彈性變小。被列車的前幾個車輪壓緊的道碴來不及恢復其原有的位置，在高速行車下，實質上就變成剛性的而且不平的基礎了。
4. 即使在道碴搗固程度完全一致及軌枕尺寸和狀態相同條件下，也仍然會由於鋼軌是點支承的形式而保持着軌枕間的不平順，對於較輕型的鋼軌，這種不平順就會嚴重的影響到動應力。

上述各缺點不可能通過各種措施予以徹底消除。此外，繼續加大鋼軌的重量（到75kg/m以上）恐怕跟增加軌枕的根數一樣，同樣會成為不合理的了。

因此，為了得到耐久、對行車速度不敏感、且便於進行修理、造價又低廉的綫路，必須尋找其他解決方案。設計這樣的綫路所應依據的原則如下：

1. 合理地佈置綫路結構的各個部件，使之便於進行修理及更換。

2. 和对現有結構一样，應該最大限度地延長結構各部件的使用期限。广泛采用新的、更坚固、更耐磨的材料。采用矿物性材料作为鋼軌基础。

3. 加大鋼軌基础在路基或道碴垫層上的支承面积。

4. 基础連續支承鋼軌。

5. 沿鋼軌長度方向使彈性模量均一，并达最适宜的程度。使彈性層尽可能地接近于輪軌的接触点。

唐山鐵道学院綫路教研組的教师和研究生們，依据上述各項原則进行了各种新型鐵路綫路結構的設計工作。于 1957 年完成了設計文件，并于 1958 年在与丰台桥梁厂及唐山工务段的职工合作下，在綫路上鋪設了五种縱向軌枕，一种軌枕板及三种就地灌注的整体道床。在邵力新的“新型軌道基础及其在綫路上工作的情况”和王世馥的“中苏二型与中苏三型整体道床”的兩篇文章中，詳細地叙述了已經完成的上述各种結構的設計、制造及鋪設工作，以及它們的适用范围和經濟效果。

根据鋪設在唐山車站正綫与到發綫上的上述各种結構一年来的工作情况，我們总结了这些結構的优点和缺点，并于 1958 年在所获得的經驗的基础上又对各种縱向軌枕、軌枕板及整体基础結構进行了改善。在“新型軌道基础及其在綫路上工作的情况”一文中，介紹了改进后的各种类型的結構及其所用的扣件。这些結構將于 1959 年由北京鐵路管理局試鋪于較長的試驗区段上。在設計、制造及鋪設过程中，作者們遇到了很多困难，由于在世界各国还没有过类似的結構的設計經驗，因而許多問題都需要首次来解决。尽管如此，教研組集体还是胜利地完成了这一任务。所有鋪設的各类結構，其工作情况都很好。所發現的个别缺点（对埋有縱向軌枕的中苏一型整体道床进行灌漿时，道床搗固得不够充分，而且采用了質量很差的水泥；在制动地段上没有采用防爬器等。这些缺点对結構本身的工作并没有發生严重的影响。）都是很好的經驗，这些經驗已在随后的設計中加以考虑了。

在所鋪設的各种新型軌道基础結構中，最經濟的是整体道床，但是它們的适用范围暂时还仅限于站綫与專用綫。目前为干綫所設計的更坚固、更完善的整体道床，其中一种型式（CK-4 型）叙述在王世馥所写“用于干綫的整体道床”一文中。

改进后的  $\Pi-1$  型縱向軌枕，基本上消除了过去試鋪中發生的缺点，使結構更为完善。关于此型縱向軌枕的詳細說明和計算可參閱王远清所写之“縱向軌枕”一文。

在万复光的文章里，叙述了綫路爬行的原因及所設計的用于新型鋼軌基础上的防爬器結構。

和寬軌鐵路一样，窄軌鐵路也担负着很大部分的运输任务。在中国，目前窄軌工業鐵路和地方性的小鐵路也有了很大的發展，因而必須对窄軌鐵路所存在的問題同样予以重視。高宗荣所写的关于窄軌鐵路軌道基础的文章，尽管資料搜集还不够完善，但还有着一定的参考价值。

对新型鋼軌基础及整个綫路也和对現有結構一样，除了一些技术要求（耐久、对行車速度不敏感等）外，还应提出一个最重要的要求——經濟性。

为了确定在某具体条件下何种結構是最有利的，就必须对各个方案、其中包括現有結構的方案进行經濟比較。評比时不仅要包括結構的造价，而且应包括运营費。此外，还应确定各方案的償还期。

在一般情况下，結構的經濟合理性，决定于对应通过綫路的單位吨数（例如一百万吨）的結構造价和运营費。

茲將几种所設計的結構的每米綫路造价以及各主要数据列于下表：

| 名 称       | 單位 | 鋼筋混凝土枕<br>(1540根) | П-1型<br>基座 | 軌 枕 板<br>(寬 76cm) | 整 体 道 床 |        |
|-----------|----|-------------------|------------|-------------------|---------|--------|
|           |    |                   |            |                   | CK-2 型  | CK-3 型 |
| 支承面积      | cm | 11940             | 14000      | 26400             | 30000   | 30000  |
| 重量        | 吨  | 0.46              | 0.73       | 0.69              | 1.80    | 2.40   |
| 其中：       |    |                   |            |                   |         |        |
| 鋼筋        | 公斤 | 10.15             | 6.24       | 10.20             | 0       | 0      |
| 水泥        | 公斤 |                   | 129        | 127               | 240     | 480    |
| 每延米綫路的建造費 |    |                   |            |                   |         |        |
| 基础        | 元  | 41.00             | 43.00      | 44.80             | 33.00   | 50.60  |
| 弹性垫板      | 元  | 5.50              | 18.00      | 18.00             | 18.00   | 0      |
| 道床        | 元  | 17.00             | 9.10       | 4.20              | 0       | 0      |
| 合 計       | 元  | 63.50             | 70.10      | 67.00             | 51.00   | 50.60  |

表內未計入扣件和鋼軌的造价。每延米木枕的綫路造价約为 40—45 元。

用于新型鋼軌基础方面的运营費用比木枕或鋼筋混凝土軌枕綫路便宜 50—75%。这一点从現有的一些运营資料中（虽然資料还不很足）已經得到証实。

从上表和所有連續支承鋼軌的新型軌道結構，鋪設一年来的实际工作情况表明，在降低成本方面还有很大潜力可挖。目前弹性垫板在整个綫路造价中佔很大的比重（30%）。这不仅可以通过比較价廉的材料，而且也可以通过改变橡皮垫板的办法。万复光同志正对这个題目进行着研究。

此外，还可以通过适当地减少基础本身的安全系数值来節約材料用量。因为按照設計細則，当設計基础时，輪載重（强度計算时采用 15T，抗裂性計算时为 11T）采用集中力，但实际上我們在鉄道科学研究所作的結果表明，当有某力系作用时，其荷载却更接近于梯形均佈荷载；而当一个力作用时，則近于三角形分佈荷载。关于在連續刚性基础上以及在具有弹性垫板时荷载分佈的特点問題，还应詳細地加以研究。这是正确設計基础所必須的。研究生們在这方面已經开始了研究工作。

本書中各篇研究报告主要是为了解决一个綜合性課題，即創造符合于現代运营要求的新型鉄道綫路結構。这些結構不仅能保証今后貨运密度和运行速度的提高，并且是今后改用更新型結構（这是运量和行車速度的进一步提高所要求的）的过渡結構型式。

# 鋼筋混凝土軌枕

王 远 清

## 一、由木枕过渡到鋼筋混凝土軌枕上去的必要性

軌枕是綫路上部構造中重要組成部分之一，它要保證軌距的正確性，均勻地和彈性地傳遞機車車輛的壓力至道碴層去，並要保證軌道在水平和垂直平面內的穩定性。可是軌枕在滿足這些要求時，它的工作條件是極其複雜和困難的。例如，它既要承受彎曲又要承受擠壓；既要遭受機械磨損又要遭受天然的腐朽；加以列車運行時的沖擊作用，氣候寒冷與炎熱的反覆變化，地區的潮濕與乾燥程度的不同等，外界因素，都使軌枕的工作條件異常困難和複雜化。因此使進綫路上部構造滿足重載列車高速行車的要求，首先就應對作為綫路上部構造重要組成部分之一的軌枕加以研究。

至目前為止，在國內外的鐵路上，木枕仍被廣泛採用着。但過去長期運營經驗說明，木枕尚具有一些較重大的缺點，其主要缺點有：

(一)綫路的不平順性：綫路的不平順性是上部構造各組成部分內出現動應力的主要原因，而造成綫路不平順性的主要原因之一是由於鋼軌支承在木枕上所引起的鋼軌基礎的不均勻的彈性，鋼軌基礎彈性不均的結果使綫路經常處於不良的狀態，使機車車輛與綫路的相互作用的條件惡化，並使列車的運行阻力增加，因此需要花費大量的資金用來進行經常維修和修理。

(二)木枕的彈性不均勻：由於木枕不是由同一種木材做成的，故其本身所具備的彈性不可能是均勻的，加以數種木枕幾何尺寸的不同，即使不考慮同時鋪到綫路上的木枕在製造中的容許公差，它們的橫斷面積可相差到 60% 而底部面積可相差到 20—25%。因此當其他條件相同時，相鄰兩枕木下道碴內的應力，可以相差到 100% 以上。

在改道時，木枕的橫向移動，更加惡化了這種情況，實驗資料證明，木枕向一側移動 15cm 時，將使其短的一頭底下的道碴應力比長的一頭底下的道碴應力幾乎增加兩倍。

木枕本身的情況也在很大程度上造成了支座彈性的不均勻性，即使是同時鋪設的尺寸完全相同的新木枕，它們在荷載下的變形也不一樣。現行木枕單根抽換的辦法，使在綫路上同時存在鋪設年分和腐朽程度不同的木枕。經驗證明，在不同時期內鋪設尺寸相同的木枕，其彈性壓縮可能有 2—3mm 的差異。

上述木枕彈性不均的缺點只能在過渡到工廠條件下製造的尺寸及彈性實際上完全相同的礦物性支座時才能完全消除。

(三)使用期限短：浸制木枕平均使用期限約为12年，普通素枕則只有3—5年，这是木枕的一大缺点。由于木枕的使用期限不長、綫路上每年需要抽換大量的木枕，这不仅要消耗大量的木材和增加大量的維修費用、同时还造成綫路的不平順性。

(四)制造木枕仅能采用直径在26cm以上的高品种的建筑木材，否則就不能适合作业条件的要求。培植这样的木材一般需要80年左右。因此，即使具有無窮無尽木材資源，这种木材亦会愈来愈感到供不应求。如果运距較远，則其价格相应地亦愈来愈高。此外，若再考虑到其他国民經济部門对木材需要量不断增長，則如何使木枕很快地过渡到用別种材料所制成的軌枕上去的問題，已成为一个十分迫切急待解決的問題了。

根据多年来各国对运用鋼筋混凝土軌枕的实驗和观测的結果，得出鋼筋混凝土軌枕具有下列几方面的优点：

(一)使用期限長：鋼筋混凝土軌枕的使用期限，平均至少在50年以上，約为浸制木枕的4—5倍；而为普通素枕的10—15倍。由于木枕使用期限短，在大中修工作中用于更換木枕的工时非常巨大，如用素枕每年每公里約需100工，如用油枕每公里約需40工；采用鋼筋混凝土軌枕每年每公里則仅需20工，从而大量减少維修費用。根据經驗，在綫路上鋪設鋼筋混凝土軌枕的結果，运营費可减少50%左右，且因制造鋼筋混凝土軌枕的工厂可以設在鋪設地点的附近，这样可以避免运输軌枕于千里之外，增加軌枕的成本，同时可以避免由于运输軌枕而長期佔用許多車廂和增加車站作業。此外，由于鋼筋混凝土軌枕使用期限長相应地可以延長綫路的上部建筑其他各个構件的使用期限，單就这一点而言，采用鋼筋混凝土軌枕所換得的經濟价值，就足以令人注意了。

(二)增加綫路的稳定性：由于鋼筋混凝土軌枕的重量大，不易因列車通过或其他原因而向上或向兩側撓起；同时在底面具有波紋防爬刻槽的情況下，綫路更难于向前后和向兩側爬行。因此，綫路的稳定性就可获得提高。

(三)支座彈性均匀：由于鋼筋混凝土所做成的軌枕，其彈性是均一的，这一点非常重要，因为現在綫路上部構造最严重缺点之一是其尺寸大小和其彈性的非均質性。軌枕的非均質性，能够引起道床压力的不均衡性和其不均匀的沉陷，使綫路在水平面內出現各种病害。同时，在列車通过时，由于不平順的結果，沿着綫路所發生的力也会急剧地增加。因此，由鋼筋混凝土所制造成的这种彈性均一的軌枕就可消灭这种缺点。

(四)抗压强度大，不怕潮湿，不易腐朽，能耐高溫，不怕火燒。在抗压强度方面，如果木枕的容許抗压强度为 $25\text{kg/cm}^2$ ，則鋼筋混凝土軌枕的容許抗压强度为 $200\text{kg/cm}^2$ 。鋼筋混凝土軌枕的耐腐硬度也較木枕为高，因此在垫板下的机械腐損也較木枕为小。鋼筋混凝土軌枕中所用的混凝土，当作一种材料来看，它与木材、金屬和其他种种材料不同，它的强度不仅不因時間久而减小，反而因時間久而增加，特別当在处在湿的环境下时为然。混凝土具有不腐朽、不怕潮湿和高溫、不怕燃燒

等性能。作用在混凝土內的鋼筋，由于有混凝土作为保护层，因而創造了良好的工作条件，它不会遭受磨損、弯折和生銹等現象。因此，由于鋼筋混凝土的这些特性，就保证了鋼筋混凝土軌枕的耐久性，这也是鋼筋混凝土使用寿命特別長的基本原因。

由于我国木材生产尚不能滿足大規模新綫建設和綫路大中修的需要，在綫路上以鋼筋混凝土軌枕代替木枕，一方面節約木材用量，另一方面还改善了綫路工作条件。因此，采用鋼筋混凝土軌枕就成为迫切的問題了。1958年，我国在制造和鋪設鋼筋混凝土軌枕方面已取得一些經驗，預計在今年將取得更大成就。

圖1为鋪有鋼筋混凝土軌枕的綫路的全貌。

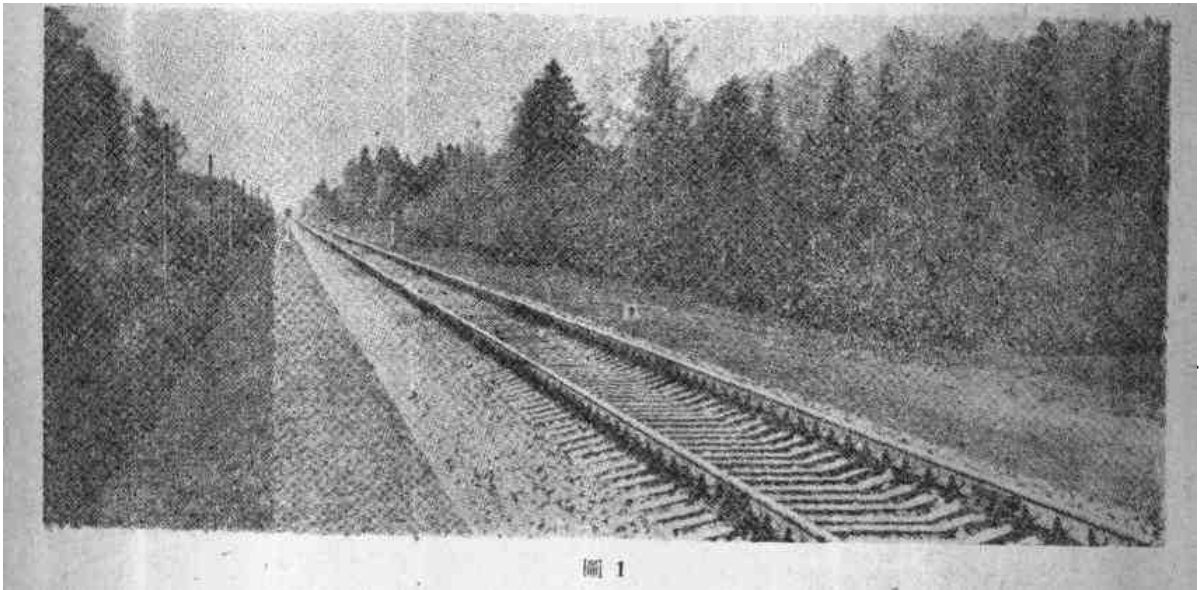


圖 1

## 二、对目前几种主要鋼筋混凝土(預应力)軌枕的分析

目前在国内外所采用的預应力鋼筋混凝土軌枕的形式是多种多样的，但按其重要特征加以分析后，可以归納为下列几种基本形式：

(一)按其結構形式之不同可分为两种：

- 1) 整体式：为一个鋼筋混凝土梁。
- 2) 双鉸式：由三塊混凝土塊組成，用預应力鋼筋联結起来，在双鉸式軌枕間墊以膠布、夾板或其他彈性材料，使接縫具有不完全彈性鉸的作用。

(二)按配筋方法的不同可分为三种：

- 1) 軸杆式的：用一根或数根直徑相当大的鋼杆为配筋，由在端部的螺帽拉紧，一般均采用后張法。
- 2) 鋼絲束的：即鋼筋由整束鋼絲組成，一般用5—7根鋼絲为一束，每根軌枕用1—2束制成，兩端用錨栓(楔子)固定，一般均用后張法。
- 3) 鋼弦混凝土軌枕：即用細的高强度的預应力鋼絲(直徑一般为2.5—5.0mm)作配筋，鋼筋与混凝土間靠粘着力联結，不用錨固設備，一般均用先張法。

双铰式轨枕，混凝土的消耗量小（比钢弦式少 25—30%）；同时由于混凝土墩间铰的作用，当轨枕变形时，可以防止在混凝土中增加应力，故这样的轨枕其中部不会发生裂缝，这是双铰式轨枕值得引人注意的两个优点。但在运营过程中，这种类型的轨枕，出现了很多严重的缺点，如中间混凝土块体的大批损坏；轨距不能保持。根据运营结果，这种轨枕既增加维修费用也危及行车安全。同时，由于其结构上的特点，生产不能工厂化，且混凝土块体间的弹性垫块，价格昂贵又易损坏。由于这些原因，捷克斯洛伐克已决定停止这种轨枕的生产。分析了双铰式轨枕的优缺点后，很显然，整体式轨枕具有不少的优点，其中最主要者，是它能可靠地保持轨距，能增加轨道的稳定性，保证行车的安全；且在制造方面，能够采用机械化进行大批生产，能及时供应新线建设和旧线修理的大量需要。1956年在布拉格所召开的国际线路业务会议的结论指出：整体梁式钢弦混凝土轨枕是所有预应力钢筋混凝土轨枕中最好和最有发展前途的一种，因为它具有以下几方面的优点：

- (1) 采用了高强度比较廉价的钢丝，钢材消耗最少，成本最低；
- (2) 有较大的预应力，一般能达到  $110-140\text{kg/cm}^2$ （而双铰式则只能达到  $55-70\text{kg/cm}^2$ ），这样由于混凝土的收缩和徐变而产生的应力损失就不大；
- (3) 没有锚栓，这就有可能使制造轨枕高度机械化和自动化；
- (4) 钢弦均匀地分布在轨枕断面内，使轨枕具有均匀的预应力，具有更好的力学性能，能够很好地承受挠曲和防止裂缝的发生。

### 三、钢筋混凝土轨枕的结构形式

设计钢筋混凝土轨枕结构形式的基本原则，是根据轨枕的功用及其工作条件，设计出一种钢筋、水泥消耗量最小，结构简单、制造容易的轨枕。为此，应对下面几个问题加以详细的分析和研究：

#### (1) 支承情况：

轨枕因设计荷载所产生的力矩和轨枕在道床上的支承情况有着密切的关系，虽然力矩数值的大小与作用在轨枕上的压力成正比，但若其支承情况不同，则力矩的变化很大。一般在设计时，考虑轨枕在道床上有下列三种支承情况：

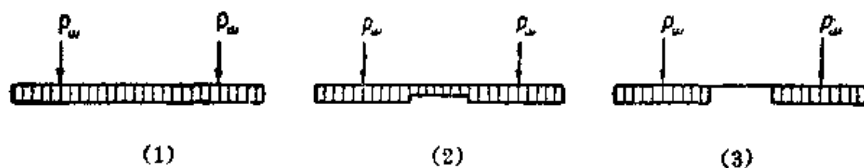


圖 2 钢筋混凝土轨枕支承情况

i) 使轨枕整个长度均支承在道床上，并假设轨枕底下的反力是均匀的，如图 2(1)所示；

ii) 使轨枕中部的反力等于两端反力之半，如图 2(2)所示；

iii) 使轨枕中部不支承在道床上，即不受道床反力的作用如图 2(3)所示。

从力学的观点来分析，第三种支承情况最好，因此时轨枕中部断面没有负力矩

作用，即可防止軌枕在中部發生裂紋的現象。为了进一步說明这一点，可以下面具体計算簡圖表明之：

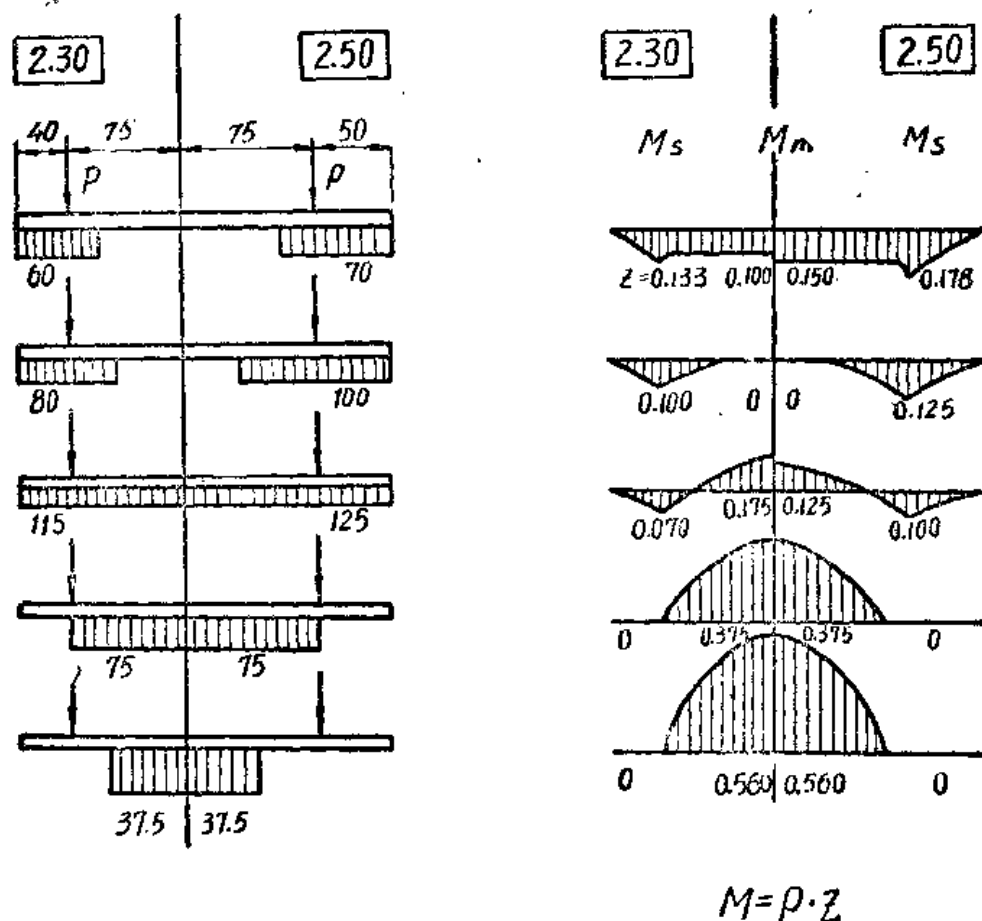


圖 3 支承情况对力矩的影响

由上圖可以得出下面几点結論：

i) 最理想的支承情况，是道床反力在鋼軌兩边对称地分布（上圖 第 2 行）也就是当道床反力的合力与車輪压力作用在一条鉛垂綫上时最好，此时在軌枕中部的負弯矩实际上等于零。

ii) 若把支承情况向外移动（第 1 行）就在軌枕中部得到一个向下的撓曲，也就是說得到一个数值值得注意的正弯矩。

iii) 若把軌枕在全長度上支承起来（第 3 行），这时在軌枕中部就出現負弯矩，而且当軌枕長度越短时，它就越大。

iv) 若仅在中段支承軌枕而將兩端悬空（例如在冻脹时有这种情况），那末就会發生很大的負弯矩，而它是完全与軌枕長度無关的（第 4 行）。

v) 最后一行，假定道床反力集中在軌枕中段，則会显示出最大的負弯矩。

因此由上面分析可知，以軌枕中部不支承在道床上，而且軌枕兩端的支承反力的合力与車輪压力作用在一条鉛直綫上时，为最有利和最理想的一种支承情况。

## (2) 軌枕的長度。

关于軌枕長度，苏联一般趋向采用較長的軌枕(2.6—3.0m)；西德在进行了几种不同長度的軌枕試驗以后，亦認為采用較長的軌枕是完全有利的。茲以下面計算簡圖加以說明。

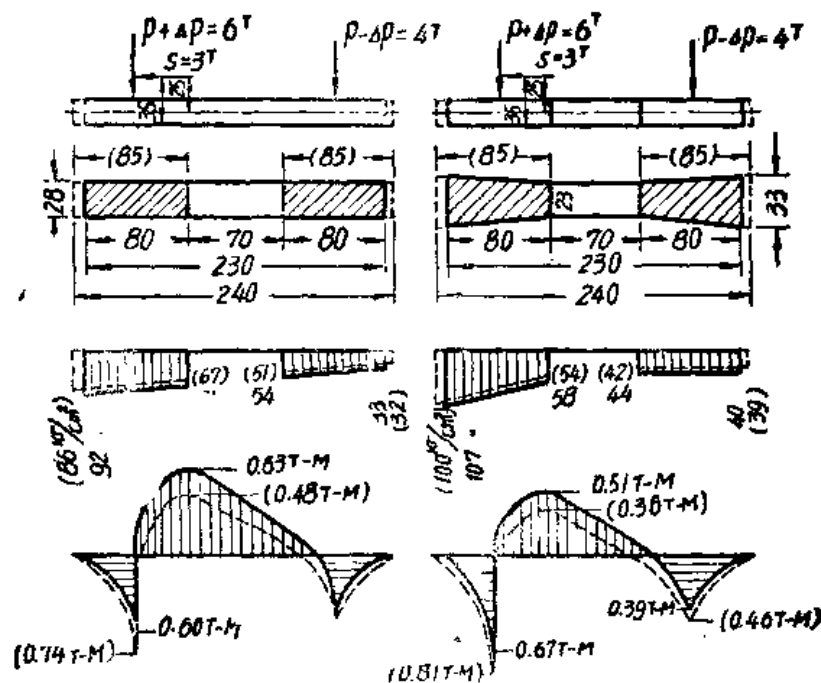


圖 4 鋼筋混凝土軌枕受側向力作用时的弯曲应力

圖 4 是根据軌枕受力的情况分析軌枕弯曲应力和軌枕長度关系的情形，假設軌枕鋪設在曲線上，有側向力  $R=6$  吨， $R$  是通过鋼軌而分布的，故估計每根軌枕受着側向力  $S=3$  吨，当一个側向力开始起作用时，外軌压力  $P$  就增大  $\Delta P$ ，而內軌压力  $P$  就减少  $\Delta P$ ，由  $P=5$  吨， $S=3$  吨出發，規定按豎向力为  $P+\Delta P=6$  吨至  $P-\Delta P=4$  吨，进行計算。

由上圖可以看出：

- i) 当軌枕長度为 2.30m 时，  
 $M_s = 0.60 \text{ t-m}$   
 $M_m = 0.63 \text{ t-m}$
- ii) 当軌枕長度为 2.40m 时，  
 $M_s = 0.74 \text{ t-m}$   
 $M_m = 0.48 \text{ t-m}$

iii) 軌枕兩端的支承面，不改变其面积的大小，但若將其形狀由矩形改为梯形，則中部負弯矩就由  $0.63 \text{ t-m}$  降低到  $0.51 \text{ t-m}$ 。很显然，由上面三点分析即可得出下面兩点結論：

i) 适当地加長軌枕長度是完全有利的，当然太長就会产生不經濟的后果，因此对道床和路基面的寬度均相应地需要增加，而这种寬度的增加，就需要相应地增

加很大的建筑費用。

ii) 支承面的形狀以向外逐漸展寬的形式為最合理，在這種情況下，可以達到車輪壓力與道床反力的合力作用在垂直線上的目的。

### (3) 軌枕的橫斷面：

軌枕橫斷面的形式，基本上只有矩形和梯形兩種，究竟採用那種斷面形式較好，迄今為止，意見仍不統一，因為從安裝防爬設備的觀點來看，則以矩形為適合；若從結構受力的情況來看，則以梯形為好。然而從目前世界各國的設計趨向來看，似乎已經肯定採用梯形斷面了。

關於軌枕中部斷面形式，目前世界有趨向採用彈性中部斷面形式的情况，例如在西德作了如下的研究：

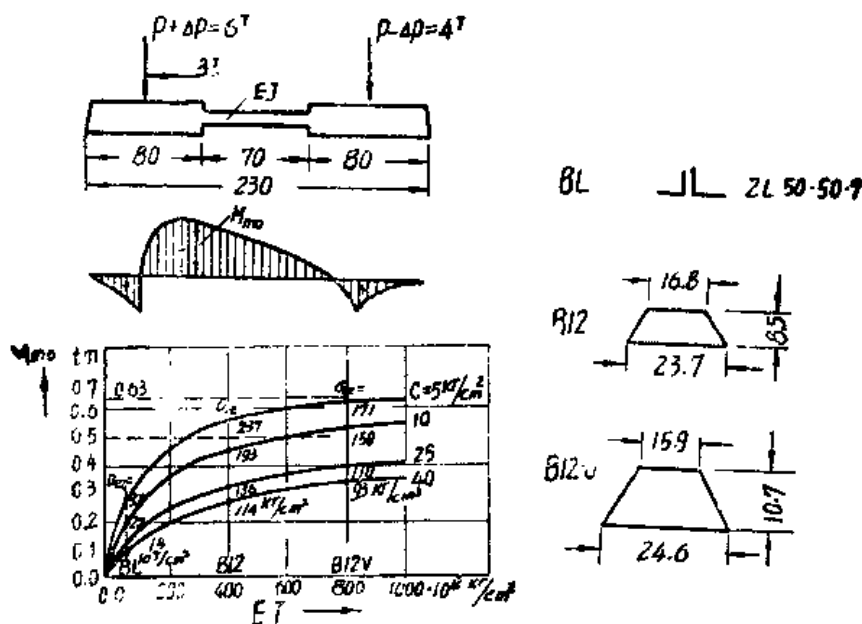


圖 5 具有彈性中段的軌枕橫斷面， $EJ$  與  $M_{m0}$  的關係

如圖 5 所示，當中部斷面的  $EJ$  越小，則其  $M_{m0}$  (負力矩) 亦越小。當完全剛性的軌枕的  $M_{m0} = 0.63 \text{ t} \cdot \text{m}$  時，與之相比則 B12 型軌枕的  $M_{m0}$  幾乎降低一半。

我國鐵道科學研究院對軌枕中部斷面尺寸，亦進行了研究，其結果如下：

軌枕長為 2.4 m，道床係數： $C_1 = 9 \text{ kg/cm}^2$ ， $C_2 = 7 \text{ kg/cm}^2$ 。

| 中間斷面高度<br>(cm) | 14          | 14.5        | 15          | 15.5        | 16          |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| $M_s$          | $0.1025 P$  | $0.1017 P$  | $0.1009 P$  | $0.1003 P$  | $0.9996 P$  |
| $M_{m0}$       | $-0.0755 P$ | $-0.0779 P$ | $-0.0803 P$ | $-0.0822 P$ | $-0.0841 P$ |
| $M_{m0}$ 的增加值  | $0.0024 P$  | $0.0024 P$  | $0.0019 P$  | $0.0019 P$  |             |

由上表所列數值亦可得出同樣的結論，即中部斷面的  $EJ$  愈小，則  $M_{m0}$  (負

力矩)亦愈小,故在設計軌枕断面时,对中部断面尺寸应小些,当然尺寸太小,就会使軌枕中部过于軟弱,对保証行車安全来講是不适合的。

#### (4) 支承面积

为了把軌道水平保持到永久的标高,必須尽可能选择最大的支承面积,以防止在列車运行时,軌枕易因反复荷載的作用而沉陷。經驗証明:具有較小支承面积的軌枕,很快就陷入道床内,造成軌道水平不能保持設計标高,因而需要花費很大的劳力和費用以进行养护。

圖 6 为三个不同支承面积的軌枕試驗結果的圖解。

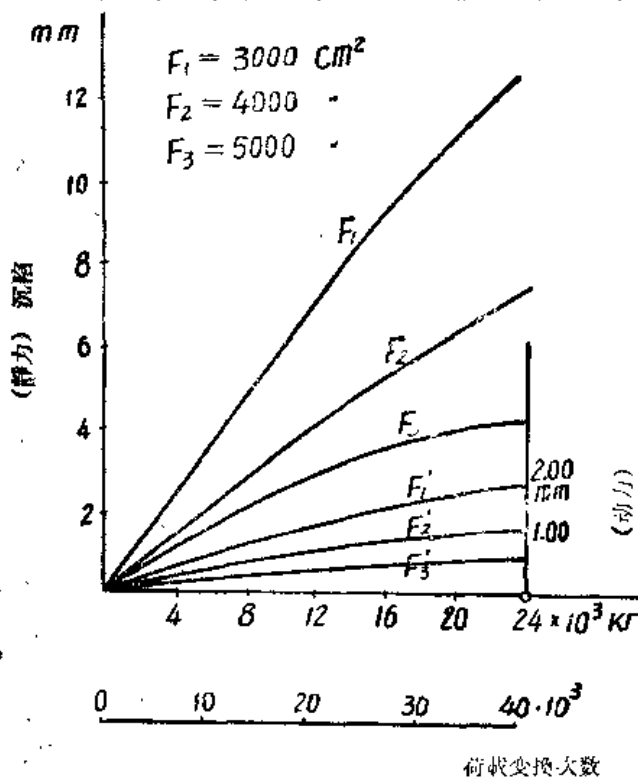


圖 6 支承面积与沉陷的关系  
 $F_1 = 3000 \text{ cm}^2$ ,  $F_2 = 4000 \text{ cm}^2$ ,  $F_3 = 5000 \text{ cm}^2$

試驗时,首先用 24 吨的压力作靜力試驗,倘若支承面积  $F_1$  的沉陷量为 15mm,等于 100%,則支承面积  $F_2$  的沉陷量为 60%,支承面积  $F_3$  則只有 33%;其次,紧接着进行动力試驗,荷載在 25 吨与 5 吨之間变化,频率为 350 次/分,这样試驗結果,与上面靜力試驗結果相同,支承面积  $F_3$  在經過  $40 \times 10^3$  次荷載变换后,达到很大的沉陷;在支承面积  $F_2$  及  $F_1$  發生了更大的沉陷。因此把有效支承面积尽可能設計得大一些,是完全合理的和必要的。

#### (5) 軌枕与鋼軌的連結

如何使鋼軌与軌枕很好地連結起来,这是一个非常重要的問題,也是世界各国到目前为止尚未解决的一个問題。因此在考虑軌枕結構形式的同时,必須很好地研究这一問題。鋼軌与軌枕連結,主要的要求是簡單、坚固,有較大的扣着力能防止鋼軌的爬行,具有良好的彈性能緩冲鋼軌对軌枕的冲击作用,要便于拆換,調整軌距和适应各种不同类型鋼軌的鋪設;此外軌枕断面的强度不致因为扣件的埋設而有所减低,我国铁道科学研究所設計的鋼筋混凝土軌枕,一般均采用下列几种連結方式:

- (1) 用螺栓連結,如圖 7a;
- (2) 用道釘連結,如圖 7b;
- (3) 用木栓扣板式中間扣件連結,如圖 8。

第一种連結方式虽然能調整軌距,構造也簡單;但缺乏彈性;且在澆灌混凝土时須預先埋入螺帽,施工較困难。第二种連結方式,其構造和鋪設均極簡單,但扣着力和坚固耐久性比較差,同时澆灌混凝土时須事先埋置  $38 \times 74 \times 140 \text{ mm}$  的木