

第一章

绪论

第一节 路基工程的组成及特点

一、路基的概念

铁路路基是经开挖或填筑而形成的直接支承轨道、满足轨道铺设和运营条件而修建的土工结构物，是铁道工程的重要组成部分。它承受着轨道及机车车辆的静荷载和动荷载，并将荷载向地基深处传递扩散，因此路基应具有足够的强度和稳定性，应能抵抗自然因素的破坏而不致产生有害变形。在纵断面上，路基必须保证线路需要的高程；在平面上，路基与桥梁、隧道连接组成完整贯通的线路。

路基工程包括路基本体工程、路基防护工程、路基排水工程、路基支挡和加固工程，以及由于修筑路基可能引起的改河、改沟等配套工程。对所有这些路基工程建筑物应如何正确、合理地进行设计和施工是路基工程工作的基本内容。

二、路基工程的特点

作为轨道的基础，作为一种土工结构物，路基工程具有其独特的特点：

1. 路基建筑在土地基上并以土石为建筑材料

路基是建筑在土地基上并以土石为建筑材料的土工结构物。岩石和土都是不连续介质，各种岩石性质差异悬殊，并具有多种结构面，土的成因、成分、结构、构造也各不相同。在自然营力和人类活动的作用下，土石的工程性质在不断变化。所以，在以岩土力学为基础的路基工程设计中，如何取得正确反映土石工程性质的物理力学指标和如何建立表达土石的应力—应变—时间关系的本构模型，成为岩土工程的重要研究内容，也是路基设计和施工水平提高的基础。

2. 路基完全暴露在大自然中

在线路工程中，路基除可遇见各种复杂的地形、地质条件外，还常受严寒、酷暑、水位涨落、狂风暴雨等气候、水文以至地震等自然条件的影响，引起各种病害，如膨胀土路基干缩湿胀引起路基边坡坍塌；南方淫雨、北方冻胀融沉引起路基隆起、下沉，翻浆冒泥等病害，雨季引起大滑坡；西北风蚀沙埋路基等。所以，路基的设计、施工、养护均离不开具体的自然条件，在充分调查研究的基础上，认识和克服自然灾害，是路基工作的重要内容。

3. 路基同时受静荷载和动荷载的作用

路基上的轨道结构和附属构筑物产生静荷载，列车运行产生动荷载，动荷载是造成基床病害的主要原因之一。要研究土体在动力作用下的变形、稳定问题，必须了解土的动力性质，包括土的动强度和液化，动孔隙水压力增长及消散模式，土的震陷等。一些新的测试手段和计算模型的出现，为进一步深入研究基床土动力响应提供了更完善的条件。在普通铁路路基设计

中，将动荷载视为静荷载计算，而高速铁路路基的设计，必须考虑作用在路基面上的动荷载特性。

第二节 路基工程技术的现状及发展

20 世纪 20 年代以前 路基填筑都按“自然沉落”法设计施工。直到 1930 年 美国人 Proctor 首先提出用标准击实试验控制路基填筑压实度。自此，各国开始制定路基填筑标准。随着生产力的发展，铁路运量和速度的不断提高，既有线铁路路基不断出现病害，各国也不断提高新建路基的设计标准。

一、我国铁路路基现状

长期以来，我国新建铁路没有把路基当成土工结构物来对待，而普遍冠名以土石方。在“重桥隧、轻路基 重土石方数量、轻质量”的倾向下 路基翻浆冒泥、下沉 边坡坍塌 滑坡等病害经常发生，使新建铁路交付运营后乃至运营多年仍不能达到设计速度与运量，经济效益与社会效益较差。

运营铁路路基技术状态不佳，强度低，稳定性差，严重威胁铁路运输和安全，已成为铁路运输的主要薄弱环节。因此，路基质量问题已逐渐被人们所认识与重视。由于我国铁路运输承担了全国 70% 左右的货物周转量和 60% 左右的旅客周转量，因此国家确定了发展重载列车及高速客运专线的技术政策。为了适应这一变化，必须提出与之相适应的高要求的路基设计标准，并严格控制工程质量。如今，全国铁路网已相继完成四次提速，开行了一批最高运行速度为 140~160 km/h 的“快速列车”。运营时速为 200 km 的秦沈客运专线的建成通车，使我国铁路路基的设计施工水平有了较大幅度地提高，极大地促进了路基工程的技术进步。

二、国外铁路路基现状

国外铁路发展的方向是重载及高速铁路。发展重载铁路（轴重 250~360 kN）的国家有美国、加拿大、澳大利亚、俄罗斯等；发展高速铁路的国家有法国、日本、德国等。这些国家都制定了较高的路基技术标准和严格的施工工艺，其特点如下：

1. 结合路基工程规定了详细的岩土分类，要求进行详细地调查，为设计、施工及养护提供所必须的依据资料。

2. 加强了轨道基础的路基基床部分，包括路堤、路堑及不填不挖地段，特别是对基床表层的材料（日本对新干线要求设置加强基床，很多国家设置基层或防护层、垫层）有严格条件并规定了强度要求。关于强度标准，有的用形变模量 E ，有的用加州承载比（CBR）。日本采用直径为 30 cm 的平板荷载试验求出的地基系数 K_{30} ；欧洲铁路联盟及法国标准要求对基层要根据土质、承载能力、防冻要求、线路等级、运输荷载条件（轴重、运量、速度）以及线路上部结构的条件设计其结构及所需厚度。

3. 对路堤各部分的填土规定了相应的填料标准，填土质量标准要求较高。多数采用压实系数 K 作为标准，施工中严格进行质量检验及控制。日本、法国标准中分别提出可用贯入仪及落球回弹法等快速检验法。为了调整接近桥台的路堤刚度，对桥头路堤规定了更高标准。

4. 为控制路基不发生过大的下沉，对路堤填土的地基条件提出了规定及处理要求。

5. 加强路基的排水系统、边坡和灾害的防护。要求防护工程与主体工程同时完成，增加路

基的坚固和稳定性，避免运营期间发生病害。

三、路基工程技术的发展

高速、重载铁路的兴建，对铁路线路的质量提出了新要求。因此，路基的性状必须要与之相一致。在确保路基稳定的前提下，在线路养护维修允许的条件下，路基在各种因素作用下的变形应控制在确保线路不出现不良状态的范围内。近年来获得的进步主要表现在：

1. 设计计算技术逐步提高，设计理念逐渐转变

计算技术的发展促进了对岩土本构关系的研究，国内外出现的上百种非线性弹性、弹塑性土石本构关系模型，使对土石变形和破坏机理的研究翻开了崭新的一页。

利用现有计算技术，能方便地对地基土石的物理力学指标进行概率统计处理，为可靠性设计奠定了基础。国内已有多个行之有效的计算机程序，可以完成路基的初步设计和施工设计。在不断应用的过程中，它必然会日臻完善。

随着高速铁路的出现和发展，深化了传统的路基设计理念。由于高速行车对线路变形的严格要求，使得路基由强度控制设计逐渐向变形控制设计转变，通常在路基强度破坏之前，已出现了较大的变形。

2. 新工艺、新技术、新材料层出不穷

随着新材料、新工艺、新技术的不断出现，使路基工程面貌一新。对滑坡的处理除采用重力式挡土墙外，经历了抗滑桩、仰斜排水孔、锚杆等，发展到应用预应力锚索及锚索桩；对软土地基的处理，从采用砂井、反压护道，经历袋装砂井、塑料排水板、真空预压等，发展到粉喷桩、旋喷桩及土工合成材料加筋地基；对基床病害的处理经历了换填砂石料、敷设沥青面层、设盲沟排水等措施，发展到较普遍地应用土工合成材料进行加筋和隔离；边坡防护技术正在从工程防护向绿色生物防护发展。在相应工程中，技术人员可以因时、因地制宜，选用合理的处理方案。

我国高速公路路基工程中，已多次用粉煤灰填筑，铁路路堤也已开始在铁路专用线及地方铁路中试用，这是轻量填筑法的开始。除粉煤灰外，还有水淬矿渣等一类工业废料可以利用，它们在减轻结构物质量，保护环境，减少投资等方面有独到之处。

使用高效施工机械，大大提高了施工速度和施工质量，减轻了工人的劳动强度；爆破技术的进步，减少了施工对路堑边坡的破坏；一些灾害报警装置性能的明显提高，使施工和行车安全有了保障；施工组织、管理水平也逐渐向世界先进水平靠拢。

3. 测试手段和设备进一步提高，检测方法更加合理

室内土工试验仪器精密化、自动化程度的提高，为研究土体的应力历史、应力路径，判别砂土液化的可能性，确定动荷载作用下土强度和变形等提供了条件。土工离心机模拟试验可直观显示构筑物因重力引起的应力、应变状态，以便于研究其破坏机理，现已用于研究软土地基上路堤临界高度、路堤沉降分析以及支挡结构物的作用机理等课题中。

利用原位测试手段了解现场土的物理力学状态，克服了取样试验的一些局限性。通过大量试验，对各试验指标之间及各试验指标与室内试验相应指标之间的相关关系研究取得了可资应用的成果。

路基施工质量的检测方法正在由以前单一的压实系数 K 指标逐渐向双指标（压实系数 K 和相对密度 D_r 与地基系数 K_{30} ）检测过渡。随着人们对高速列车动荷载作用下路基表现的动态行为的认识不断深入，检测路基强度的另一指标——动态变形模量 E_{vd} 正在逐渐应用推广。

4. 规范逐步完善和更新

制定规范可以说是各项建筑工程的“国策”，有了规范才有章可循。只有建设者遵守规范，才能加强工程设计和施工管理及统一验收标准，确保工程质量。在调查研究，总结经验，吸取科研成果的基础上，我国相继制定和修改了若干有关铁路路基勘测、设计、施工及质量评定的规范。如《铁路工程地质勘察规范》(TB 10012—2001)、《铁路路基设计规范》(TB 10001—99)、《铁路路基支挡结构设计规范》(TB 10025—2001)、《铁路路基土工合成材料应用技术规范》(TB 10118—99)、《铁路特殊路基设计规范》(TB 10035—2002)、《铁路路基施工规范》(TB 10202—2002)、《铁路路基工程质量检验评定标准》(TB 10414—98)等。随着我国铁路建设事业的发展，规范本身也将不断改革和更新。

路基工程技术的进步，为使路基稳固、经济，把路基的变形控制在允许范围内奠定了基础。

第三节 路基工程常见病害及建筑要求

一、铁路路基常见病害

路基裸露在自然界中，整个路基经常受到自重、列车荷载和各种自然因素的作用。由于水、温度和各种荷载的作用，路基的各部分将产生可恢复的变形和不能恢复的变形，那些不能恢复的变形，将引起路基标高和边坡坡度、形状的改变，甚至造成土体位移和路基横断面几何形状的改变，危及路基及其各组成部分的完整和稳定，形成路基的病害。铁路路基常见病害有以下几种。

1. 基床翻浆冒泥

基床翻浆冒泥(图 1-1)是指含黏粒、粉粒的基床表层土，在水和列车反复振动的作用下，发生软化或触变、液化形成泥浆，列车通过时轨枕上下起伏使泥浆受挤压抽吸而通过道床孔隙向上翻冒，造成道碴脏污、板结，丧失弹性。

基床翻浆冒泥分为土质基面翻浆、风化石质基面翻浆、裂隙泉眼翻浆三类。典型的翻浆冒泥多发生在基床表层 30~50 cm 以内，此时，道碴压入基床而形成的道碴囊也较浅，轨道下沉常不明显，且多发生于雨季，路堤、路堑均可发生，是基床病害的早期现象。泥浆使道床板结，失去弹性，加剧了列车对轨道的冲击力，缩短了轨道的使用寿命，增加了线路的维修工作量。基床翻浆如不及早整治，病害将向基床深部发展，导致道碴囊加深，轨道沉陷，从而转化为基床下沉或挤出等严重变形现象。

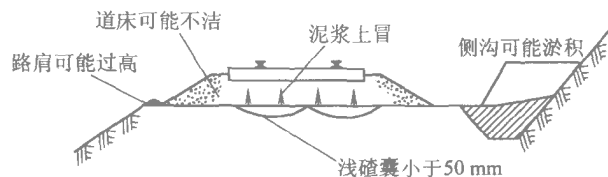


图 1-1 基床翻浆冒泥

基床翻浆冒泥分为土质基面翻浆、风化石质基面翻浆、裂隙泉眼翻浆三类。典型的翻浆冒泥多发生在基床表层 30~50 cm 以内，此时，道碴压入基床而形成的道碴囊也较浅，轨道下沉常不明显，且多发生于雨季，路堤、路堑均可发生，是基床病害的早期现象。泥浆使道床板结，失去弹性，加剧了列车对轨道的冲击力，缩短了轨道的使用寿命，增加了线路的维修工作量。基床翻浆如不及早整治，病害将向基床深部发展，导致道碴囊加深，轨道沉陷，从而转化为基床下沉或挤出等严重变形现象。

2. 路基下沉

路基下沉是指由于路基土压实度不足或松软，在水、荷重、自重及列车振动作用下发生局部或较大面积的竖向变形。一般经过列车运行一段时间后，下沉会趋于缓解，但有时因荷重增加或水的作用使沉降速率加大，局部下沉也会造成陷槽，使线路不平顺。路基下沉分为基床下沉、地基下沉及边坡外臃三类。

(1) 基床下沉。由于基床填料的压实度不足、土质不良或由于线路荷重增加而造成的基床面标高局部或大范围的明显沉陷的变形现象。

(2) 地基下沉。由于地基土质不良且路基填筑时处理不当，或由于线路荷重增加而造成地

基面标高的降低。

(3)边坡外臃。在黏性土或粉土路堤上，受水和列车动力影响，道碴囊向边坡方向发展，从而使边坡中下部向外臃出。

3. 基床外挤

基床外挤主要是指由于基床的软弱层被水饱和，在列车动力作用下，软弱层顺其下的刚卧层发生剪切滑动或塑性流动，向路肩一侧或两侧挤出的变形现象。图 1-2 是发生于路堑的基床外挤。外挤分为路肩隆起和路肩外挤两类。路肩隆起指基床土处于软塑状态，基床发生剪切破坏，在路肩单侧或双侧向上隆起的变形；路肩外挤指基床内的土经常处于软塑状态，而基床下部某一深度处存在刚卧层或土质密实，阻碍了道碴陷坑向下发展，同时侧向阻力较小，剪切沿界面发生，使路肩向外挤出的变形。

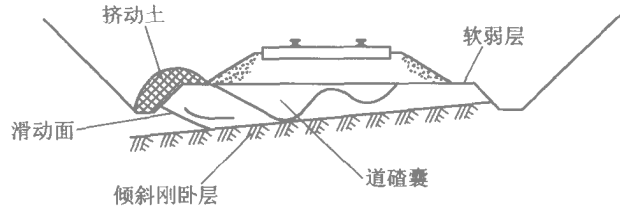


图 1-2 基床外挤

4. 基床冻害

路基在土质、水和温度的不利组合下，低温季节基床土冻结，短距离地段内出现不均匀冻胀或左右股道的不均匀冻胀，导致线路不平顺或方向不良称为基床冻害。基床冻害可分为表层冻害和深层冻害两类。表层冻害指发生在基床土体临界冻结深度上半部分的冻害，或冻结深度小的地区发生的冻害，易造成线路不均匀冻胀。深层冻害产生冻害的部位较深，多兼因地下水水位较高，冻结过程中不断出现冰层而引起。

5. 边坡溜塌

边坡溜塌是指路堤或路堑边坡表层受水流侵蚀软化，或由于列车振动作用，失去稳定而形成的边坡浅层溜滑或坍塌。边坡溜塌对于路堤而言其溜塌范围不超过轨枕端部，对于路堑地段，边坡的溜塌不影响到基床的稳定性，超出此范围，即不属于边坡溜塌病害。边坡溜塌分为堤坡溜塌和堑坡溜塌两类。

6. 风化剥落

风化剥落是指风化的石质路堑边坡，在外界环境因素如降水、强风、振动等影响下，成片或块体剥落，从而危及线路和行车安全。一般多指因地形、地质原因而造成的体积较小而数量较多的风化岩石剥落，现场常用设防护网或喷射水泥浆等方法处理。

7. 滑坡

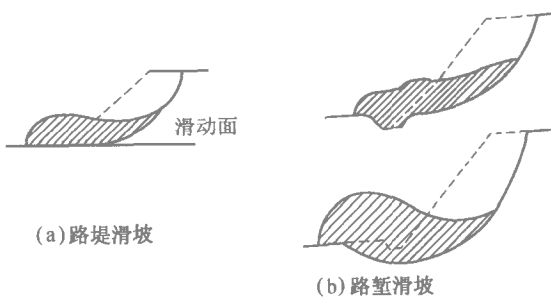


图 1-3 滑坡

滑坡是指一部分土体在重力作用下沿路堤的某一滑动面滑动。滑坡现象主要是由土体的稳定性不足而引起的，分路堤滑坡和路堑滑坡 见图 1-3。边坡坡度过陡，或边坡坡脚被冲刷挖空，或填土层次安排不当，是路堤边坡发生滑坡的主要原因。路堑边坡滑坡的主要原因，是边坡高度和边坡坡度与天然岩土层次性质不相适应。黏性土层和蓄水的砂石层交替分层蕴藏，

特别是有倾向路堑方面的斜坡层理时，就更容易造成滑坡。

8. 不良地质和水文条件造成的路基破坏

铁路通过不良地质条件（如泥石流、溶洞等）和较大自然灾害（如大暴雨）地区时，均可能导致路基的大规模毁坏。在铁路勘测设计过程中，应力求避开这些地区或采取相应的工程技术措施，以保证路基的安全和稳定。

二、对路基的建筑要求

根据铁路路基的特点及病害发生的种类，为使路基正常工作，路基建筑应满足如下要求：

1. 路基必须平顺，路基面有足够宽度和上方限界

路基平顺状态是指路肩高程和平面位置与线路平面、纵断面设计相符。路基的平面位置以其中心线表示。路基面宽度应满足轨道铺设和养护要求。在路基面上方应有足以保证行车安全和便于线路维修养护的安全空间，当路基面上方或两侧有接近线路的建筑物时，必须按照铁路限界的规定设置在限界范围以外。

2. 路基必须具有足够的强度和刚度

强度和刚度是两个不同的力学特性，两者既有联系又有不同。强度是指路基抵抗应力作用和避免破坏的能力，刚度是指路基抵抗变形的能力。

路基是直接天然地面上填筑或挖除部分地面而建成的。路基修建后改变了原地面的自然平衡状态。为防止路基在列车荷载及各种自然因素作用下发生破坏与失稳，同时给轨道提供一个坚实的基础，必须针对具体情况，采取一定的措施来保证路基具有足够的强度。同时为保证路基在荷载作用下，不致产生超过容许范围的变形，也要求路基应具有一定的刚度。

3. 路基必须具有足够的水、温稳定性

路基在地面水和地下水作用下，其强度会降低。在季节性冻土地区，由于周期性的冻融作用，在水和负温度共同作用下，土体会发生冻胀，造成轨面变形，春融期局部土层过湿软化，路基强度急剧下降。因此，不仅要求路基要有足够的强度和刚度，而且还应保证在最不利的水温条件下，路基不致冻胀和在春融期强度不致发生显著降低，这就要求路基应具有足够的水、温稳定性。

第二章

一般路基设计

第一节 路 基 构 造

一、路基横断面基本形式

路基的断面形式、构造尺寸、各部分组成和主要设备均可从路基的横断面图上得到反映，路基横断面图是路基设计的主要文件之一。路基横断面图是指垂直线路中心线截取的截面。在铁路线路工程中，路基横断面的基本形式有以下几种：

1. 路堤

当铺设轨道的路基面高于天然地面时，路基以填筑方式构成，这种路基称为路堤，如图 2-1(a) 所示。

2. 路堑

当铺设轨道的路基面低于天然地面时，路基以开挖方式构成，这种路基称为路堑，如图

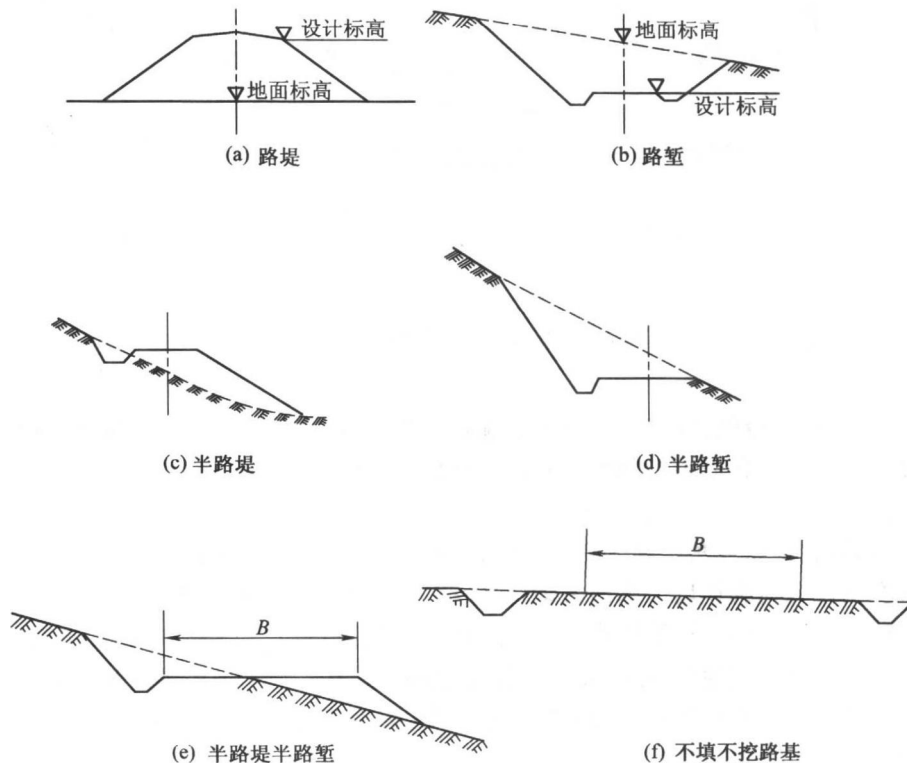


图 2-1 路基横断面形式

2-1(b) 所示。

3. 半路堤

当天然地面横向倾斜，路堤的路基面边线和天然地面相交时，路堤体在地面和路基面相交线以上部分无填筑工程量，这种路堤称为半路堤，如图 2-1(c)。

4. 半路堑

当天然地面横向倾斜，路堑路基面的一侧无开挖工作量时，这种路基称为半路堑，如图 2-1(d)。

5. 半路堤半路堑

当天然地面横向倾斜，路基一部分以填筑方式构成而另一部分以开挖方式构成时，这种路基称为半路堤半路堑，如图 2-1(e)。

6. 不填不挖路基

当路基的路基面和经过清理后的天然地基面平齐，路基无填挖土方时，这种路基称为不填不挖路基 如图 2-1(f)。

二、路基横断面基本构造

(一) 路基本体

在各种路基形式中，为了能按线路设计要求铺设轨道而构筑的部分，称为路基本体。在路基横断面中，路基本体由路基顶面、路肩、基床、边坡、路基基底几部分构成，如图 2-2 所示。

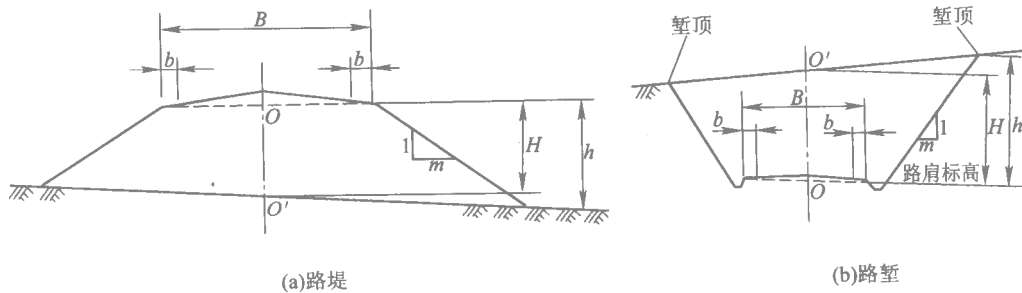


图 2-2 路基本体

B - 路基宽度; b - 路肩; H - 路基中心高; h - 路基边坡高。

1. 路基顶面

直接在其上面铺设轨道的面，称为路基顶面或简称路基面。在路堤中路基顶面即为路堤堤身的顶面，也称路堤顶面；在路堑中，路基顶面即为堑体开挖后形成的构造面。

2. 路肩

路基面两侧自道床坡角至路基面边缘的部分称为路肩。其作用是保护轨道以下的路基土体，防止其在列车动荷载作用下侧向挤动；防止路基面边缘部分的土体稍有塌落时，影响轨道道床的完整状态；在线路养护维修作业中，路肩是线路器材的存放处和辅助工作面；铁路线路的标志、信号设备和有些通信、电力及给水设施也都设置在路肩上或设槽埋置在路肩下。在线路设计中，路基的设计高程以路肩边缘的高程表示，称为路肩高程。

3. 基床

铁路路基面以下受列车动荷载作用和受水文、气候四季变化影响的深度范围称为基床。

其状态直接影响到列车运行的平稳和速度的提高，设计时应严格执行《铁路路基设计规范》对基床厚度、填料及其压实度、排水等的规定。

4. 边坡

在路堤的路肩边缘以下和在路堑路基面两侧的侧沟外，因填挖而形成的斜坡面，称为路基边坡。边坡与路基顶面的交点称为顶肩。边坡与地面的交点，在路堤中称为坡脚；在路堑中称为路堑顶边缘，其高程与路肩高程的差为路堑边坡高度。路堤的边坡高度为路肩高程与坡脚高程之差。边坡的坡形在路基中常修筑成单坡形、折线形或阶梯形，每一坡段坡面的斜率以边坡断面图上取上下两点间的高差与水平距离之比表示，当高差为 1 单位长时，水平距离经折算为 m 单位长 则斜率为 $1:m$ 。在路基工程中，以 $1:m$ 方式表示的斜率称为坡度， m 称为坡率。在路基本体构造中，边坡的形状和坡度的缓陡对路基本体的稳定和工程费用有重要影响。

5. 路基基底

路堤填土的天然地面以下受填土自重及轨道、列车荷载作用的部分称为路堤基底。路堑边坡土体内和堑底路基面以下的地基内因开挖而产生应力变化的部分称为路堑基底。基底部分土体的稳固性，对整个路基本体以至轨道的稳定性都是极为关键的，特别是在软弱土的基底上修建路堤，必须对基底作妥善处理，以免危及行车安全与正常运营。

(二) 路基设备

路基设备是路基的组成部分，是为确保路基本体的稳固性而采用的必要的经济合理的附属工程措施，包括排水设备和防护、加固设备两大类。

路基的排水设备分地面排水设备和地下排水设备两种。地面排水设备用以拦截地面径流，汇集路基范围内的雨水并使其畅通地流向天然排水沟谷，以防止地面水对路基的浸湿、冲刷而影响其良好状态。地下排水设备用以拦截、疏导地下水和降低地下水位，以改善地基土和路基边坡的工作条件，防止或避免地下水对地基和路基本体的有害影响。

路基防护设备用以防止或削弱风霜雨雪、气温变化及流水冲刷等各种自然因素对路基本体所造成的直接或间接的有害影响，其种类很多，类型各异。常用的防护设备是坡面防护和冲刷防护。为了防止路基边坡和坡脚受坡面雨水的冲刷，防止日晒雨淋引起土的干湿循环，防止气温变化引起土的冻融变化等因素影响边坡的稳固，常采用坡面防护。为了防止河水对边坡、坡脚或坡脚处地基不断的冲刷和淘刷，应设冲刷防护。防护位置和所采用的类型则常视水流运动规律及防护要求而定。特殊条件下路基的防护类型更多，例如在多年冻土地区，为防止冻融线路的剧烈变化应采用各种保温措施；在泥石流地区，为防止泥石流对路基本体的威胁，常设置多种拦蓄与疏导工程；在风砂地区为防止路基本体砂蚀和被掩埋，常采用各种防砂、固砂设施等。

路基加固设备是用以加固路基本体或地基的工程设施，在路基工程中，有护堤、挡土墙、支垛、抗滑桩及其他地基加固措施等。路基加固设备是提高路基稳定性的一种有效措施。

三、路基横断面各组成部分的设计原则

(一) 路基面形状

水的危害是造成路基病害的重要原因，保证良好的排水条件是路基设计的重要原则。路基面的形状应根据基床填料的渗水性及水稳性而定。当路堤或路堑的土质为非渗水性土时，路基面应做成有横向排水坡的拱状，称为路拱，以利于排除雨水，避免路基面处积水使土浸湿软化，造成病害。而岩质路基或用渗水材料（如碎石、卵石、砾石、粗砂或中砂）修筑的路基，因

填料具有良好的渗水性能, 降雨时短暂的湿润对强度影响不大, 故路基面不需设成路拱而作成水平状即可。但对于年平均降水量大于 400 mm 地区的易风化泥质岩石, 因其在动荷载长期作用下易于软化而发生翻浆冒泥病害, 因此路基面亦应按土质路基作出路拱, 这样, 路基面的形状便视路基材料是否为渗水材料而分为有路拱和无路拱两种。路基面形状应符合下列规定:

1. 非渗水土和用封闭层处理的路基面应设路拱。路拱形状为三角形, 单线路基的路拱高 0.15 m, 一次修筑双线路基的路拱高 0.20 m 底宽等于路基面宽度 如图 2-3 所示, 图中 B 为路基面宽度。曲线加宽时, 路拱仍保持三角形, 仅将路拱外侧坡度放缓。既有线修筑双线时, 第二线路基面按 4% 排水横坡设计。

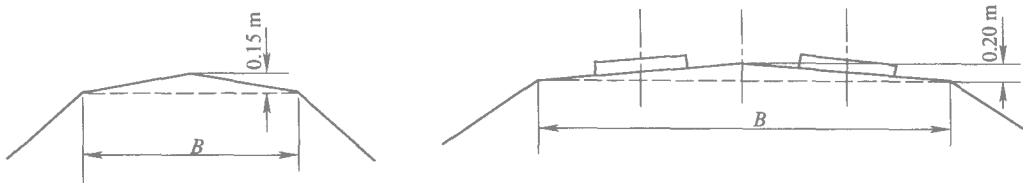


图 2-3 单、双线路基路拱图

2. 渗水土和岩石 (年平均降水量大于 400 mm 地区的易风化泥质岩石除外) 的路基面均为水平面。其路肩应高于非渗水土路基的路肩, 高出尺寸 Δh 按下式计算:

$$\Delta h = (h_1 - h_1') + \Delta \quad (2-1)$$

式中 h_1 —— 非渗水土路基的道床厚度 (m);

h_1' —— 渗水土路基的道床厚度 (m);

Δ —— 轨下路拱高度 (m)。

站场内路基面的形状可根据站内股道数目的多少选用单坡形、人字坡或锯齿形, 路基面的横向排水坡度为 2%~4% 并在低谷处设置排水设备 如图 2-4 所示。

岩石、渗水土路基与非渗水土路基衔接时, 自两者的衔接处起, 在岩石或渗水土地段由非渗水土路基向渗水土路基顺坡, 其长度不应小于 10 m。同时可使衔接顺坡地段的道床厚度能满足规定的要求, 如图 2-5 所示。

(二) 路基面宽度

路基面宽度等于道床覆盖的宽度加上两侧路肩的宽度之和。区间路基面宽度应根据铁路等级、正线数目、线间距、远期采用的轨道类型、路基面形状、曲线加宽、路肩宽度等由计算确定。

路肩宽度: I 级铁路, 一般情况下, 路堤不应小于 0.8 m 路堑不应小于 0.6 m 困难条件下, 路堤不得小于 0.6 m, 路堑不得小于 0.4 m; II 级铁路的路堤不得小于 0.6 m, 路堑不得小于 0.4 m; III 级铁路的路堤和路堑均不得小于 0.4 m。

1. 区间直线地段路基面宽度

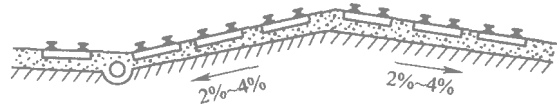


图 2-4 站场多股道路基顶面图

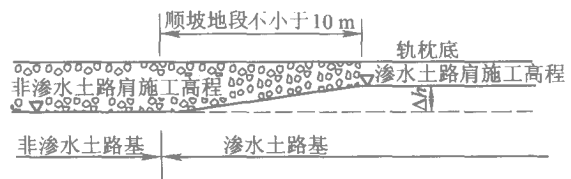


图 2-5 岩石、渗水土路基与非渗水土路基的衔接

区间直线地段的路基面宽度如表 2-1 所示。

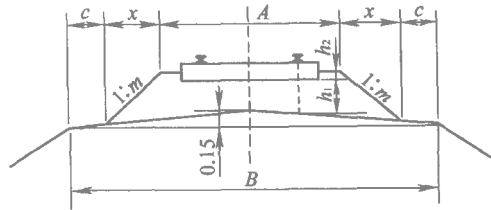
表 2-1 直线地段路基面宽度 (m)

铁路等级	轨道类型	单 线						双 线					
		非 渗 水 土			渗 水 土、岩 石			非 渗 水 土			渗 水 土、岩 石		
		道床厚度	路基面宽度		道床厚度	路基面宽度		道床厚度	路基面宽度		道床厚度	路基面宽度	
			路堤	路堑		路堤	路堑		路堤	路堑		路堤	路堑
I 级	特重型	0.50	7.5	7.1	0.35	6.6	6.2	0.50	11.6	11.2	0.35	10.6	10.2
	重 型	0.50	7.5	7.1	0.35	6.6	6.2	0.50	11.6	11.2	0.35	10.6	10.2
	次重型	0.45	7.1	6.7	0.30	6.3	5.9	0.45	11.3	10.9	0.30	10.3	9.9
II 级	次重型	0.45	6.7	6.3	0.30	5.9	5.5	—	—	—	—	—	—
	中 型	0.40	6.5	6.1	0.30	5.9	5.5	—	—	—	—	—	—
III 级	中 型	0.40	6.2	6.2	0.30	5.5	5.5	—	—	—	—	—	—
	轻 型	0.35	5.6	5.6	0.25	5.0	5.0	—	—	—	—	—	—

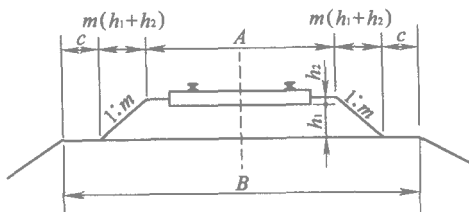
- 注: 1 表中宽度值系按非无缝线路道床顶宽计算, 当铺设无缝线路时, 特重型与重型轨道路基面宽度均应增加 0.2 m, 次重型轨道路基面宽度均应增加 0.3 m;
2. 困难条件下, 当路肩宽度为路堤 0.6 m、路堑 0.4 m 时, I 级铁路路基面宽度可减小 0.4 m;
3. 单线路堑自线路中心沿轨枕底面水平至路堑边坡的距离, 一边不应小于 3.5 m (曲线地段系指曲线外侧), 双线路堑两边均不应小于 3.5 m;
4. 表中的非渗水土是指黏性土 (填料中的细粒土)、粉砂 (填料中的黏砂、粉砂) 以及黏性土含量大于等于 15% 的碎石类土、砂类土 (填料中的岩块和粗粒土, 但粗粒土中黏砂、粉砂除外);
5. 年平均降水量大于 400 mm 地区的易风化泥质岩石, 可按非渗水土一栏考虑。

对于有特殊要求的线路和各种非标准轨距的线路等, 则可建立公式对路基面宽度进行计算, 以满足特定道床覆盖宽度和所需路肩宽度的要求。路基面宽度的计算公式如下:

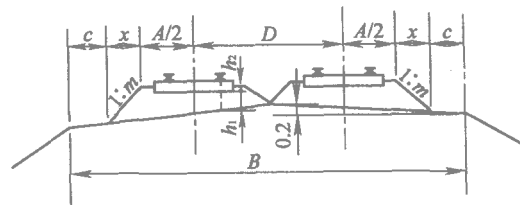
(1) 单线非渗水土路基面宽度 [图 2-6(a)]



(a) 单线非渗水土路基面宽度



(b) 单线岩石、渗水土路基面宽度



(c) 双线非渗水土路基面宽度

图 2-6 直线地段路基面宽度 (单位: m)

在图 2-6 中, B 为路基面宽度; A 为道床顶面宽度; c 为路肩宽度; m 为道床边坡坡率; h_1 为靠路基中心的钢轨处轨枕下道床厚度; h_2 为轨枕埋入道床深度, III 型钢筋混凝土轨枕为 0.185 m, II 型钢筋混凝土轨枕为 0.165 m。

从图 2-6(a)可知, 路基面宽度为

$$B = A + 2x + 2c \quad (2-2)$$

而

$$x = \frac{m(h_1 B + h_2 B + 0.15A + 0.225)}{B - 0.3m}$$

将 x 代入(2-2)式, 并进行整理得

$$B^2 - MB + N = 0 \quad (2-3)$$

所以

$$B = \frac{M \pm \sqrt{M^2 - 4N}}{2}$$

式中

$$M = A + 2c + 2m(0.15 + h_1 + h_2)$$

$$N = m(0.6c + 0.45)$$

(2)单线岩石、渗水土路基面宽度 [图 2-6(b)]

图 2-6(b)中 路基面宽度为

$$B = 2[(h_1 + h_2)m + c] + A \quad (2-4)$$

(3)双线非渗水土路基面宽度 [图 2-6(c)]

从图 2-6(c)可知, 路基面宽度为

$$B = D + A + 2x + 2c \quad (2-5)$$

而

$$x = \frac{m(h_1 B + h_2 B + 0.2A + 0.3)}{B - 0.4m}$$

式中 D ——双线的线间距, 其值不应小于 4.0 m;

h_1 ——靠路基中心的钢轨处轨枕下的道床厚度。

将 x 代入(2-5)式, 并进行整理得

$$B^2 - MB + N = 0 \quad (2-6)$$

所以

$$B = \frac{M \pm \sqrt{M^2 - 4N}}{2}$$

式中

$$M = D + A + 2c + 2m(0.2 + h_1 + h_2)$$

$$N = m(0.4D + 0.8c - 0.6)$$

(4)双线直线地段岩石、渗水土路基面宽度

路基面宽度为

$$B = \text{单线岩石路基面宽度} + 4.0$$

2. 区间曲线地段的路基面加宽

在曲线地段, 由于曲线轨道的外轨设置超高、外侧道床加厚、道床坡脚外移, 故曲线外侧的路基面应予加宽, 其加宽值可按各级铁路的最大允许超高度计算确定。曲线外侧路基面的加宽量应在缓和曲线范围内向直线递减。我国现行的《铁路路基设计规范》中规定的区间单线曲线地段, 路基面加宽值如表 2-2 所示。双线和多线曲线地段路基面宽度除按表 2-2 规定的数值加宽外, 还应根据双线线间距、外轨超高度、道床宽度及其坡度、路拱形状等计算确定, 确保规定的安全行车空间所需的线间距加宽值, 如图 2-7 所示。双线曲线地段线间距加宽的原因是当两线列车交会时, 外线车辆中部向内偏移而内线车辆两端向外偏移, 使行车安全空间被压缩, 如图 2-7(a); 若外线超高值大于内线超高值, 则两线上行驶的车辆顶部相互靠近, 也减

少了行车安全空间，如图 2-7(b)。

表 2-2 曲线地段路基面加宽值 (m)

铁路等级	曲线半径	路基面外侧加宽值	铁路等级	曲线半径	路基面外侧加宽值
I、II 级	$R \leq 800$	0.5	III 级	$R \leq 600$	0.5
	$800 < R \leq 1\,000$	0.4		$600 < R \leq 800$	0.4
	$1\,000 < R \leq 1\,600$	0.3		$800 < R \leq 1\,000$	0.3
	$1\,600 < R \leq 6\,000$	0.2		$1\,000 < R \leq 2\,000$	0.2
	$6\,000 < R \leq 10\,000$	0.1		$2\,000 < R \leq 5\,000$	0.1

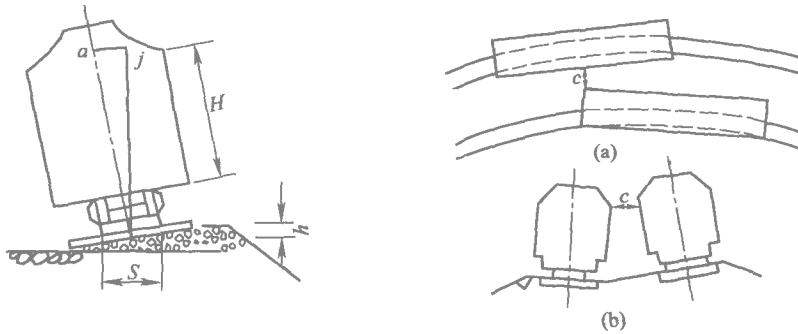


图 2-7 双线曲线路基面线间距加宽值计算图

区间曲线地段路基面加宽值是按照 I 级铁路最高行车速度 140 km/h, II 级铁路最高行车速度 120 km/h, III 级铁路最高行车速度 100 km/h 计算的。计算轨面超高值根据最高行车速度,按《铁路线路设计规范》条文说明中超高上界值选用,均不超过 150 mm 的最大超高值。

计算结果表明 I、II 级铁路加宽值相差不大,故统一按 I 级铁路采用。

曲线地段路基面加宽值计算公式由图 2-8 可知为:

$$h_2 = \left(\frac{A}{2} + \Delta + 0.75 \right) \frac{h_3}{1.5} + 0.185 \quad (2-7)$$

$$\text{因} \quad \left(\frac{B}{2} - 0.75 \right) \frac{0.3}{B} = h_4 + \frac{0.3c}{B+2W}$$

故 $h_4 = 0.15 \left(1 - \frac{1.5}{B} - \frac{2c}{B+2W} \right)$ 采用近似值 0.07 ~ 0.1 m 所以

$$x = m(h_1 + h_2 + h_4)$$

曲线地段路基面加宽值为

$$W = \frac{A}{2} + \Delta + x + c - \frac{B}{2} \quad (2-8)$$

式中 h_1 ——钢轨处轨枕下道床厚度;

h_3 ——计算轨面超高值;

Δ ——道床顶面加宽值,无缝线路 $R < 800$ m、非无缝线路 $R < 600$ m 时, $\Delta = 0.1$ m 否则 $\Delta = 0.0$ m。

(三) 路肩高程

路肩的高程应保证路基不致被洪水淹没,也不致在地下水最高水位时因毛细水上升至路

相符。

(四) 路基基床

路基基床结构分为表层及底层，现行《铁路路基设计规范》规定其厚度如表 2-3 所示，结构如图 2-11 所示。

表 2-3 铁路路基基床厚度 (m)

铁路等级		I 级	II 级	III 级
层位	表层	0.6	0.5	0.4
	底层	1.9	1.5	1.1

注：基床厚度以路肩施工高程为计算起点。

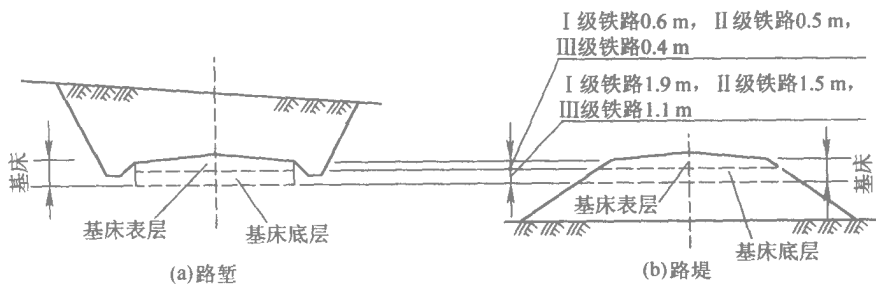


图 2-11 基床结构示意图

我国各类铁路基床厚度及部分国外铁路基床厚度如表 2-4 和表 2-5 所示。

表 2-4 我国各类铁路基床厚度 (m)

铁路类别	高速铁路	秦沈 客运专线	广深准 高速铁路	大秦 重载铁路	TBJ 1-96			GBJ 12-89	
					I	II	III	I (10 Mt 以上)	I、II、III (10 Mt 以下)
基床 厚度	表层	0.7	0.6	0.7	0.6	0.5	0.3	0.5	0.3
	底层	2.3	1.9	1.8	1.9	0.7	0.9	0.7	0.9

表 2-5 部分国外铁路基床厚度 (m)

国别		日本	美国	德国	前苏联	法国
基床厚度	表层	0.5、0.8	设计确定	0.5	0.3~0.5	0.6
	底层	2.5、2.2	1.22	1.3	1.0	-

由此可见，我国铁路现行规范所规定的基床厚度除小于日本外，与其他国家比较接近；基床表层厚度与其他国家基本一致。

1. 路堤基床

路堤基床表层填料的选择应符合下列要求：

(1) 应优先选用 A 组填料（填料组别见第二节），其次为 B 组填料，但颗粒粒径不得大于 150 mm。

(2) 当选用 B 组填料中的砂黏土时，在年平均降水量大于 500 mm 的地区，其塑性指数不得大于 12，液限不得大于 32%。

(3) 当不得不使用 C 组填料中的细粒土含量大于 30% 的卵石土、碎石土、圆砾土、角砾土和细粒土中的粉土、粉黏土时, 在年平均降水量大于 500 mm 的地区, 其塑性指数不得大于 12, 液限不得大于 32%。

(4) 对不符合上述要求的填料, 应采取土质改良措施。

(5) 严禁使用 D、E 组填料作为基床表层填料。

基床底层的填料可选用 A、B、C 组填料。当不得不使用 D 组填料时, 必须采取加固或改良措施。

基床土的压实度, 对细粒土和黏砂、粉砂应采用压实系数 K_h 或地基系数 K_{30} 作为控制指标 对粗粒土 黏砂、粉砂除外 应采用相对密度 D_r 或地基系数 K_{30} 作为控制指标; 对碎石类土和块石类混合料应采用地基系数 K_{30} 作为控制指标。其值不应小于表 2-6 的规定值。

表 2-6 基床土的压实度

层位	填料类别 铁路等级	细粒土和黏砂、粉砂		细砂、中砂、粗砂、砾砂	砾石类	碎石类	块石类混合料
		I、II级	III级	I、II、III级			
表层	压实系数 K_h	0.91	0.91	—	—	—	—
	地基系数 K_{30} (MPa/cm)	0.9	0.9	1.0	1.2	1.2	—
	相对密度 D_r	—	—	0.75	0.75	—	—
底层	压实系数 K_h	0.89	0.86	—	—	—	—
	地基系数 K_{30} (MPa/cm)	0.8	0.7	0.8	1.0	1.0	1.2
	相对密度 D_r	—	—	0.7	0.7	—	—

注: K_h 为重型击实试验的压实系数, 是填土经夯实以后的干密度 ρ_d 与填土土样用重型击实试验求得的最大干密度 ρ_{dmax}

之比。相对密度 D_r 按下式计算得出: $D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$, 式中的 e_{max} 、 e_{min} 为填料的 最大和最小孔隙比, 分别在试验中取最大密度 ρ_{dmax} 和最小干密度 ρ_{dmin} 计算得出。e 为填料压实后取样, 测其干密度 ρ_d 后求得的孔隙比。 K_{30} 为 30 cm 直径荷载板试验得出的地基系数, 一般取下沉量为 0.125 cm 的荷载强度。

高度小于基床厚度的低路堤, 基床表层厚度范围内天然地基的土质及其压实度应满足表 2-3 和表 2-6 的要求。基床底层厚度范围内天然地基为冲积细粒土时, 其静力触探比贯入阻力 P_s 值不得小于 1 MPa。

2 路堑基床

基床表层土, 在年平均降水量大于 500 mm 的地区, 当为易风化的泥质岩石和塑性指数大于 12、液限大于 32% 的黏性土时, 应采取换填或土质改良等措施。

基床表层土的压实度不应小于表 2-6 的规定值, 否则应采取压实措施。

基床底层为软弱土层时, 其静力触探比贯入阻力 P_s 值不得小于 1 MPa。

3. 基床加固措施

路基基床加固应根据土质及其压实度、降水量、地下水类型及其埋藏深度、加固材料来源等, 经比选采用适宜的加固措施。常用基床加固措施有以下几种:

(1) 就地碾压: 路堑基床表层和低路堤基床表层范围内天然地基土的压实度不能满足表 2-6 的规定时, 可采用重型碾压机械进行碾压。

(2) 换土或土质改良: 当基床土不能满足表 2-6 规定时, 可采用换土或在土中加入石灰、水泥、砂、炉渣等掺和料的方法改良土质。

(3) 加强排水：当基床土受水影响时，应增设地面或地下排水设备，拦截、引排或降低、疏干基床范围内的水。

(4) 设置土工合成材料：当降水量大，同时基床土为亲水性强的填料时，可在路基面铺设不透水的土工膜或复合土工膜；当水源为地下水时，可在路基面铺设透水的无纺土工织物；当基床土为软弱土层时，可在基床表层铺设土工格室。

(5) 综合措施：当并存的诸因素均可诱发基床病害时，可采用上述措施的组合。

四、路基荷载

路基荷载是指作用在路基面上的应力。它包含两部分：一部分是线路上部结构的重量作用在路基面上的应力，即静荷载。静荷载可以按线路类型，按每公里的各种材料数量及重量，确定每延米长的重量及其分布的宽度。另一部分是列车行驶时轮载力通过上部结构传递到路基面上的动应力，即动荷载。动荷载按规定采用《中华人民共和国铁路标准活载》，即中—活载作为标准荷载如图 2-12 所示。路基中常仅取图中的机车活载为动荷载，不需考虑后面车辆部分的分布力。但是轴重是集中力，因此在具体计算时又把它简化成纵向均布的线荷载，并假定每个轴重的分布宽度等于轴距。最后得到沿纵向作用在路基面上的列车（动）荷载分布强度 $q = 220/1.5 = 146.67 \text{ kN/m}$ 。

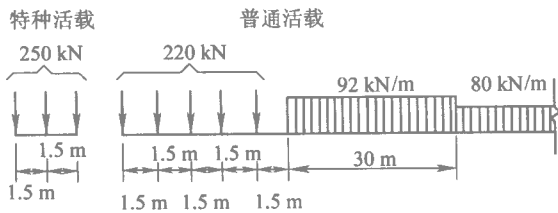


图 2-12 中—活载计算图式

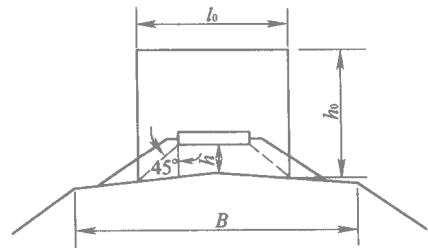


图 2-13 换算土柱图示

普通铁路路基设计当需要考虑荷载的影响时，计算中常把静荷载和动荷载一并简化作为静荷载处理，即通常的换算土柱法。将静荷载和动荷载加在一起，按由轨端作 45° 应力扩散角与路基面相交的宽度视为分布宽度的矩形荷载。将路基面上的轨道和列车荷载的合力，换算成与路基填料重度相同的土柱来代替，如图 2-13 所示。

换算土柱高度 h_0 为：

$$h_0 = \frac{P}{l_0 \gamma} \quad (2-9)$$

式中 l_0 ——路基面上荷载检算土柱宽度， $l_0 = L + 2h \cdot \tan 45^\circ = L + 2h$ ， h 为道床厚度（m）， L 为轨枕长度（m）；

γ ——路基填料重度（ kN/m^3 ）；

P ——作用在单位延米长路堤上列车与轨道荷载（ kN/m ）。

标准轨距铁路的轨道和列车荷载换算土柱高度及分布宽度如表 2-7 所示。

在高速铁路路基的设计中必须进行动态分析，这就不能简单地把动荷载作为静荷载处理，此时，需要计算列车动荷载作用在路基中所产生的动应力的分布规律（详见第三章第三节）。