

二、设计相关问题（暂规）

1. 高速铁路的特点与要求

2. 高速铁路桥梁的技术标准

3. 高速铁路桥梁的结构形式



桥梁比例很大

原因：封闭、软土、占地等因素

如德国桥梁总延长约占线路总长8%左右，
日本平均达到48%，韩国桥梁约占30%。

我国客运专线所占比例可能最大。

混凝土桥梁多

原因：竖向、抗扭刚度、稳定性、耐久性、噪音等。
预应力混凝土桥梁在高速铁路桥梁中占有绝对优势。

因此【暂规】6.1.7规定：

桥梁上部结构应优先采用预应力混凝土结构，亦可采用钢筋混凝土结构、钢结构和钢-混凝土结合结构。
结构应有足够的竖向刚度、横向刚度和抗扭刚度，并保证结构的整体性。



重视结构耐久性和可维修性

大量桥梁的使用经验说明，结构的耐久性对桥梁的安全使用和经济性起着决定的作用。经济合理性应当使建造费用与使用期内的检查维修费用之和达到最少，片面地追求较低的建造费用而忽视耐久性，往往会造成很大的经济损失。

因此【暂规】 6.1.2 规定：

桥涵结构应构造简洁、力求标准化、便于施工架设和养护维修，并须具有足够的耐久性和良好的动力特性，满足高速列车安全运行和旅客乘坐舒适度的要求。

桥涵主要承重结构应按100年使用要求设计。

并满足【铁路混凝土结构耐久性设计暂行规定】。



结构刚度大

原因：轨道平顺、舒适度、安全等要求。

因此【暂规】对结构变位、转角、自振频率等提出了严格要求。

并且6.1.8规定：

预应力混凝土梁部结构，宜选用双线整孔箱形截面梁，也可选用两个并置的单线箱形截面梁，或根据具体情况选用整体性好、结构刚度大的其他结构型式。

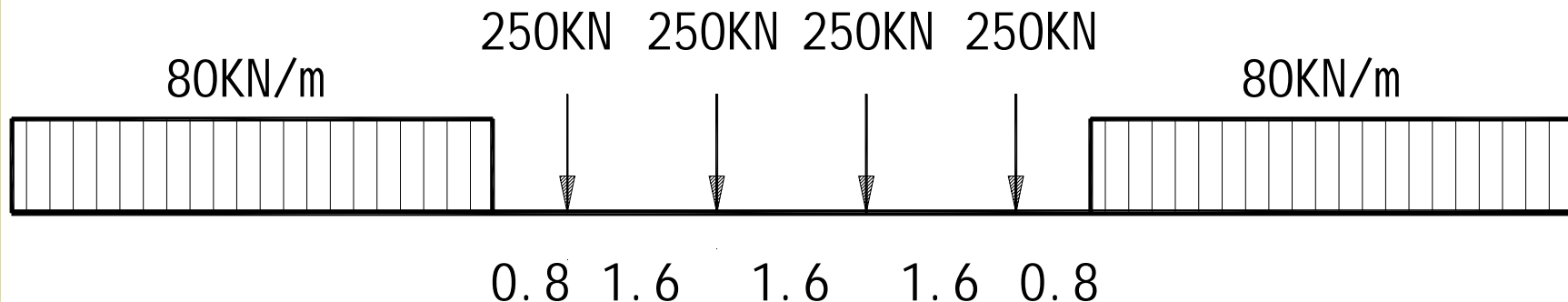
且6.1.1规定：

本章规定的桥梁梁部及墩台刚度的限制仅适用于跨度小于96m的结构。桥梁设计时应根据需要进行车桥耦合动力响应分析。



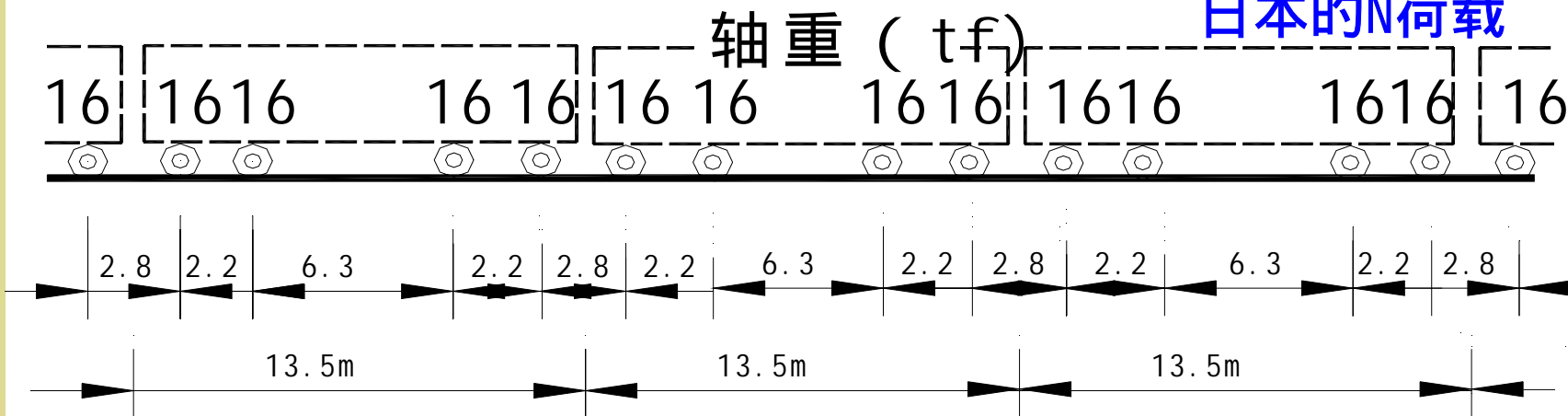
列车活载

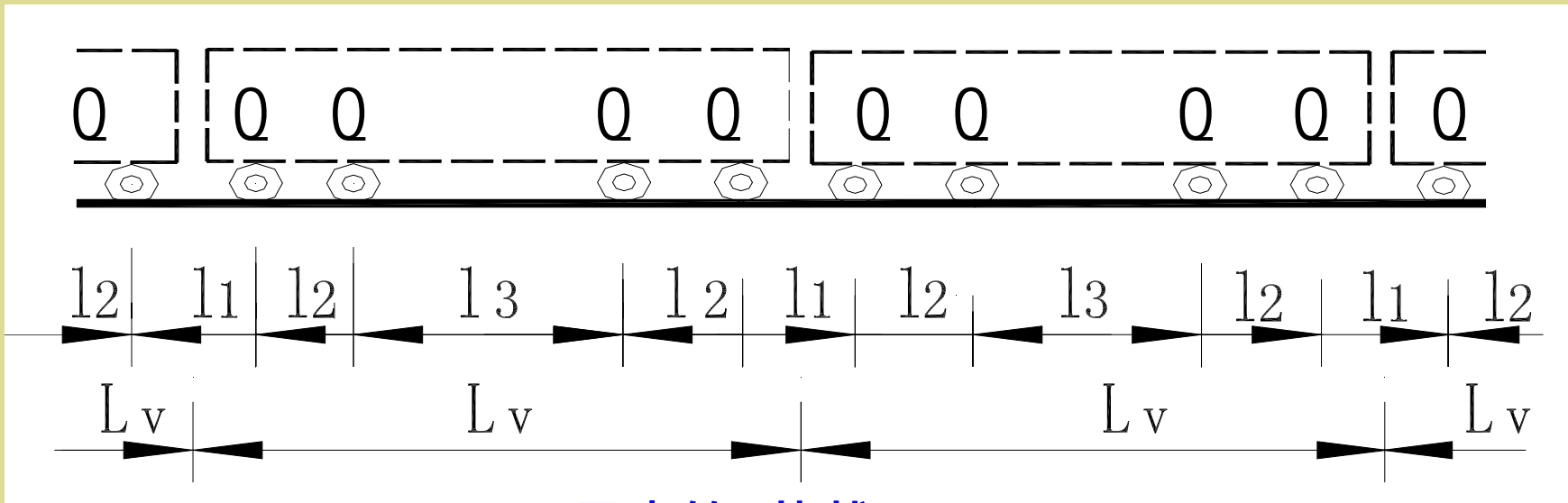
欧洲普遍采用的UIC活载



欧洲各国普遍采用的UIC活载，它包络了六种运营列车的活载图式，能够概括当前和可预见的将来在欧洲铁路上出现的荷载，它包络的运营列车，包括最大时速为80km的特重列车、最大时速为120km的重型货车、最大时速为250km的长途客车和最大时速为300km的高速轻型客车。

日本的N荷载





日本的P荷载

日本高速铁路标准设计活载，非常接近日本实际的高速运营列车活载。标准P活载和UIC活载图式中包含的时速300km的高速轻型高速列车活载的轴重、轴距相差不大。

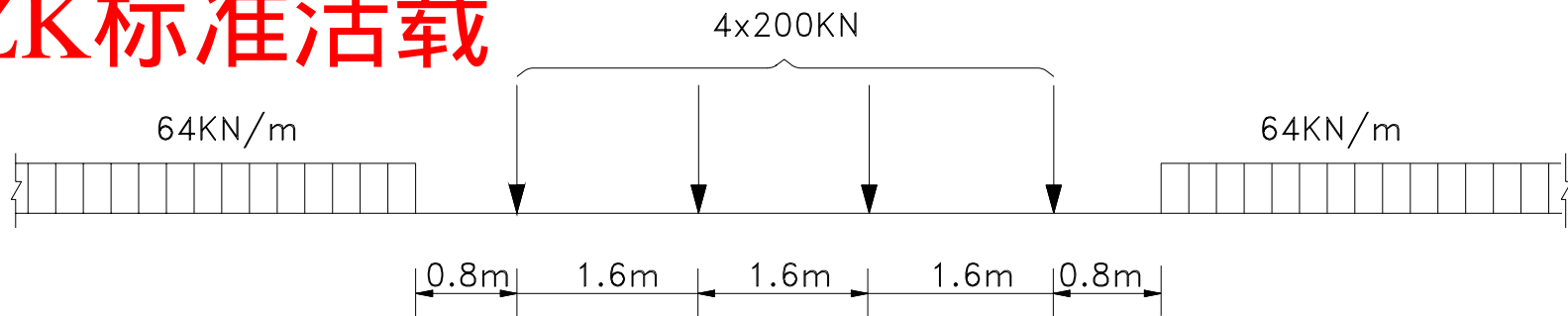
经过大量计算比较，最后确定为0.8UIC

0.8UIC作为高速铁路桥梁设计活载，其静、动载效应均大于中速列车和高速列车的静、动载效应，并有一定余量，且设计活载与实际运营活载间的余量和既有铁路设计活载（中—活载）与实际运营活载间的余量相当。

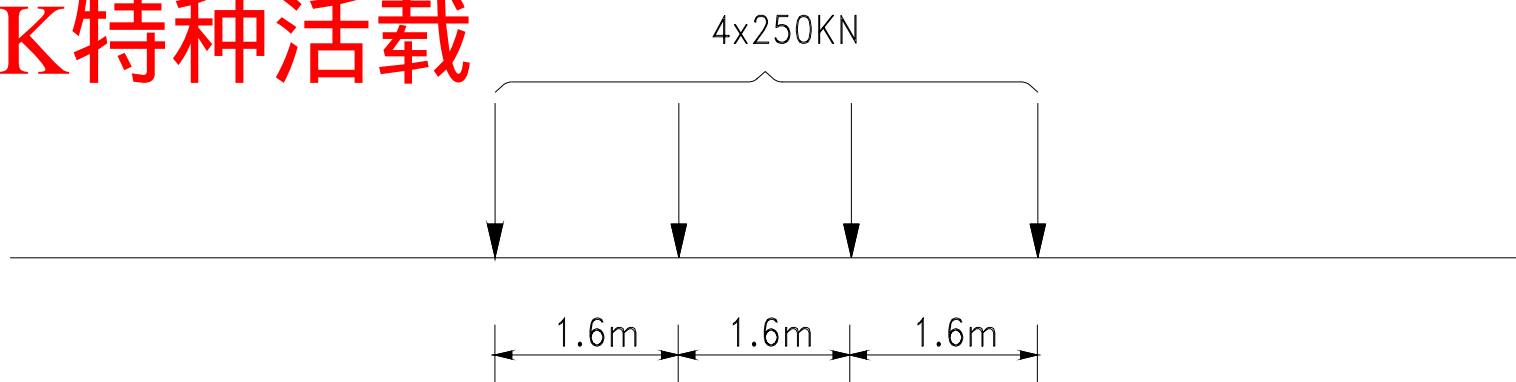
0.8UIC作为高速铁路桥梁设计活载，其作用于结构上的内力变化与实际运营活载内力变化规律协调。



ZK标准活载



ZK特种活载



ZK活载均涵盖了：动力分散式列车(MTM)、动力集中式列车(SS₈)、轻快货车(LFV)、大型养路机械车组(MAINT)、临时荷载(如临时货车、铺轨机、架桥机等)。



同时规定：

- 1 对于单线或双线的桥梁结构，各线均应计入ZK活载作用。
- 2 对于多于两线的桥梁结构，应按下列最不利情况考虑：
 - (1) 按两条线路在最不利位置承受ZK活载，其余线路不承受列车活载。
 - (2) 所有线路在最不利位置承受75%的ZK活载。
- 3 设计加载时，活载图式可任意截取。对多符号影响线，活载图式可隔开，即在同符号影响线各区段进行加载，中间的异符号影响线区段不加载。
- 4 用空车检算桥梁各部分构件时，其竖向活载按 10kN/m 计算。
- 5 桥跨结构或墩台尚应按其实际使用的施工机械和维修养护可能作用的荷载加以检算。



冲击系数

6.2.2 列车竖向活载包括列车活载动力作用时，应将静活载所产生的竖向效应（弯矩和剪力）乘以动力系数 ϕ ，动力系数应按下列公式计算：

1计算剪力时：

$$\phi_1 = \frac{0.996}{\sqrt{L_\phi} - 0.2} + 0.913$$

2计算弯矩时：

$$\phi_2 = \frac{1.494}{\sqrt{L_\phi} - 0.2} + 0.851$$

式中 L ——加载长度（m），其中 $< 3.61\text{m}$ 时按 3.61m 计；简支梁时为梁的跨度；

n 跨连续梁时取平均跨度乘以下列扩大系数：

$=2$	1.20
$=3$	1.30
$=4$	1.40
$=5$	1.50

当计算 L 小于最大跨度时，取最大跨度。



脱轨荷载：

长度大于15 m的桥梁，应考虑列车脱轨荷载。列车脱轨荷载不计动力系数，亦不考虑离心力。

多线桥上，只考虑一线脱轨荷载，且其它线路上不作用列车活载。应按下列两种情况，计算列车脱轨荷载的影响。

有的国家考虑了列车掉道后的安全措施，以防止列车倾覆。如：德国高速铁路桥梁利用道碴槽两侧的电缆槽阻挡掉道列车坠落桥下；瑞典高速铁路桥梁采用加高的挡碴墙代替护轨。京沪高速采用了高挡碴墙的道床型式，但掉道的可能性仍是存在的。

长钢轨纵向力

长钢轨纵向力和长钢轨断轨力引起的墩台顶纵向水平力，应按梁轨共同作用进行计算，并作用于墩台上的支座中心处。

牵引力、离心力、摇摆力、汽车撞击荷载等从略。



结构变形、变位和自振频率的限制

6.3.1 梁体竖向挠度的限值应符合下列规定：

1 梁部结构在ZK活载静力作用下，梁体的竖向挠度不应大于表6.3.1所列数值。

表6.3.1 梁体的竖向挠度限值

跨度 项目	$L \leq 24\text{m}$	$24\text{m} < L \leq 40\text{m}$	$40 < L \leq 96\text{m}$
单 跨	$L/1300$	$L/1000$	$L/1000$
多 跨	$L/1800$	$L/1500$	$L/1200$



2 在ZK活载静力作用下，有碴轨道梁端竖向折角不应大于2‰，无碴轨道不应大于1‰。

3 拱桥和刚架桥的竖向挠度，除考虑ZK活载的静力作用外，尚应计入温度变形的影响。此时梁体竖向挠度，按下列情况之不利者取值，并满足本条所列限值的要求

1) ZK活载静力作用下产生的挠度值与0.5倍温度引起的挠度值之和；

2) 0.63倍ZK活载静力作用下产生的挠度值与全部温度引起的挠度值之和。



6.3.2 在列车横向摇摆力、离心力、风力和温度的作用下，梁体的水平挠度应小于或等于梁体计算跨度的 $1/4000$ 。

墩顶横桥向水平位移按以下要求控制：在ZK活载、横向摇摆力、离心力、风力和温度的作用下，桥跨结构横向水平变形引起的梁端水平折角应不大于 1.0% 。

6.3.3 活载作用下梁体扭转引起的轨面不平顺限值为：以一段3m长的线路为基准，ZK活载作用下，一线两根钢轨的竖向相对变形量不大于1.5mm。

6.3.4 预应力混凝土梁的徐变上拱度值应严格控制。常用跨度简支梁，轨道铺设后，有碴桥面梁的徐变上拱度不宜大于20mm；无碴桥面梁的徐变上拱度不宜大于10mm。特殊桥跨结构应做专门研究。



6.3.5 简支梁竖向自振频率不应低于按下式计算的限值：

$$4\text{m} \leq L \leq 20\text{m时} \quad n_0 = 80/L$$

$$20\text{m} < L \leq 96\text{m时} \quad n_0 = 23.58L^{-0.592}$$

式中 n_0 -----简支梁竖向自振频率限值（Hz）；

L -----简支梁跨度（m）。

6.3.6 桥梁结构，除进行静力分析应满足有关规定的要求外，尚应按实际运营客车通过桥梁的情况进行车桥耦合动力响应分析。分析得出的列车运行安全性及旅客乘坐舒适度指标应满足下列规定的要求。

参考欧洲规范规定所有高速铁路桥梁都必须进行动力仿真分析，为安全计，所有桥梁都要进行车桥耦合动力响应分析，直接用行车安全性和乘坐舒适性的评判标准进行检验。根据欧洲规范，桥梁动力仿真计算的最高速度应取1.2倍的设计速度。



脱轨系数： $Q/P \quad 0.8$ ；
轮重竖向减载率： $P/P \quad 0.6$
轮对横向水平力： $Q \quad 80\text{kN}$
车体竖向振动加速度 $a_z \quad 0.13g$ (半峰值)
车体横向振动加速度 $a_y \quad 0.10g$ (半峰值)
桥面板加速度：
有碴桥面强震频率不大于20Hz的竖向振动加速度：
 $a \quad 0.35g$
无碴桥面竖向振动加速度： $a \quad 0.5g$

舒适性的标准，在国内外有多种形式，主要有如下几种：

- Sperling(斯佩林)评价指标 W_z ；
- 以国际标准化组织(ISO)标准为基础的舒适度标准(简称ISO2631标准)；
- Janeway(杰奈威)舒适性系数；
加速度最大限值标准。



6.3.7 墩台基础变位限值应符合下列规定：

1 墩台基础的沉降量应按恒载计算。

对于静定结构，工后沉降量不应超过下列容许值：
墩台均匀沉降量：不得超过50mm，相邻墩台均匀沉降量之差不得超过20mm。

对于超静定结构，其相邻墩台均匀沉降量之差的容许值，除要满足外静定结构相邻墩台沉降量之差的要求外，还应根据沉降时对结构产生的附加应力的影响而定。

2 桥墩台的纵向及横向水平刚度应满足高速行车时列车安全性要求和旅客乘车舒适度要求，应对最不利荷载作用下墩台顶的纵向及横向计算弹性水平位移进行控制。

6.3.8 涵洞的工后沉降量不应大于100mm。



6.4.1 钢筋混凝土及预应力混凝土结构设计应符合下列规定：

1 板的设计应符合下列要求：

(1) 板厚不得小于80mm，承受列车荷载的板厚，不得小于150mm。

(2) 板中受力钢筋的中心距，在承受最大弯矩的截面上，不得大于板厚的2倍和300mm。但承受列车荷载的板，在承受最大弯矩的截面上不得大于板厚的1.5倍和200mm。

(3) 板所用钢筋的直径，不得大于板厚的1/10。

(4) 当板上承受较大集中荷载时，应设置附加钢筋。



3 简支箱形梁的设计应符合下列要求：

- (1) 顶板及底板的厚度不应小于200mm；
- (2) 在底板的垂直桥轴方向的钢筋应伸入腹板内锚固；
- (3) 箱形梁应根据需要设置进入孔。
- (4) 宽跨比较大的箱梁，在设计计算时应考虑剪力滞的影响。

T梁、连续梁、应力控制要求、封锚等要求从略。

6.4.2 结合梁等设计要求从略。

6.4.3 墩台设计要求从略。

6.4.5 涵洞设计要求从略。



6.5.1 有碴轨道轨下枕底道碴厚度不应小于0.35m。

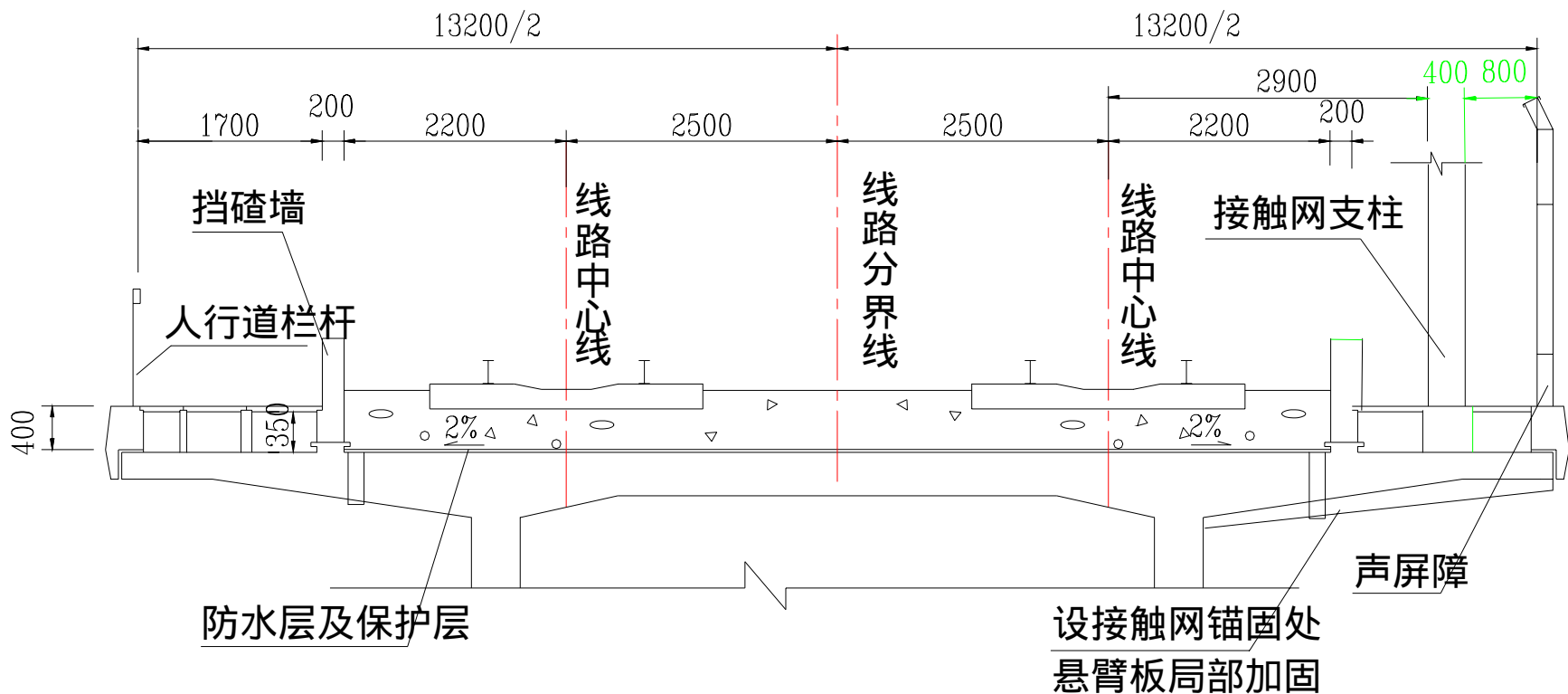
6.5.2 桥上不设护轮轨，采用加高挡碴墙或防撞墙的形式作为预防列车脱轨后的安全措施。挡碴墙高度应根据最小曲线半径时墙顶不低于外轨顶面计算确定、直线、曲线上高度等高。



桥上有碴轨道和无碴轨道各有利弊。桥上有碴轨道有利于改善行车舒适度和降低噪声，有利于桥上线路高程的调整，有利于铺设渡线，有利于养路机械的连续作业，不足之处是桥梁的二期恒载大，维修工作量大等；桥上无碴轨道性能均匀、稳定，养护维修工作量很少，桥梁上二期恒载较有碴轨道小很多，有利于桥梁的设计，不足之处是一次性投资较大。

无接触网立柱

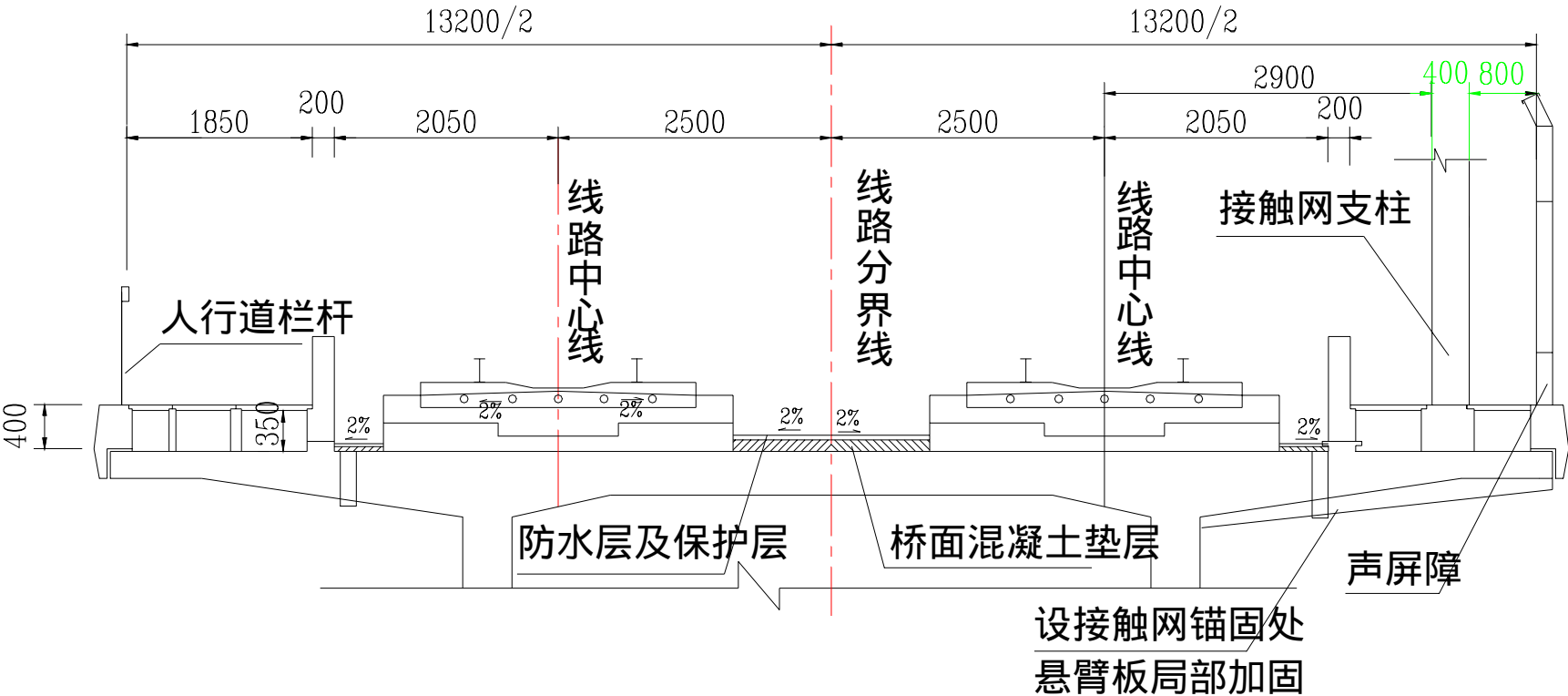
有接触网立柱



实际上早期高速铁路在德国、法国、意大利、西班牙等国的桥上轨道基本上都采用的有碴轨道。与此相反，日本在高架桥和混凝土桥梁上大量采用无碴轨道。鉴于无碴轨道维修养护作业少，能节省大量维修养护费用，故世界各国高速铁路都在大力发展无碴轨道。

无接触网立柱

有接触网立柱



预应力混凝土简支梁

多片T梁

单线箱梁

双线箱梁

预应力混凝土连续梁或刚构

钢-混凝土结合梁

其他形式极少：如拱桥、斜拉桥

