

项目一 线路平面和纵断面认知

【项目描述】

铁路线路是列车与机车车辆运行的基础，从铁路运营角度考虑，铁路线路最好是既平又直，这样可提高列车运行速度，增大牵引质量，节省运营费用，提高运输能力。但由于地形、地物、地质条件及资金投入等的限制，如将线路设计成既平又直的理想状态，几乎是不可能的。所以，铁路线路存在曲线和坡度，铁路线路的平面与纵断面坡度必须结合线路的具体情况，并按线路等级和《铁路线路设计规范》所规定的技术标准进行设计。

我国客货共线铁路线路等级，根据其在铁路网中的作用、性质、设计速度和客货运量分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级。Ⅰ级铁路是指在铁路网中起骨干作用的铁路，或近期年客货运量大于或等于 20 Mt 者；Ⅱ级铁路是指在铁路网中起联络、辅助作用的铁路，或近期年客货运量小于 20 Mt 且大于或等于 10 Mt 者；Ⅲ级铁路是指为某一地区或企业服务的铁路，近期年客货运量小于 10 Mt 且大于或等于 5 Mt 者；Ⅳ级铁路是指为某一地区或企业服务的铁路，近期年客货运量小于 5 Mt 者。

【教学目标】

1. 知识目标

- (1) 掌握线路平面的组成要素。
- (2) 掌握曲线附加阻力的确定方法。
- (3) 掌握缓和曲线的概念。
- (4) 掌握线路纵断面的组成要素。
- (5) 掌握坡道附加阻力的确定方法。
- (6) 掌握限制坡度及换算坡度的概念。

2. 能力目标

- (1) 能识读线路的平面图。
- (2) 能识读线路的纵断面图。
- (3) 能计算曲线和坡道的附加阻力。
- (4) 能识别各种线路标志。

3. 素质目标

- (1) 培养学生谦虚、好学的能力。
- (2) 培养学生勤于思考、做事认真的良好作风。
- (3) 培养学生良好的职业道德。

任务一 线路平面认知

【相关知识】

铁路线路在空间的位置是用它的线路中心线来表示的，如图 1.1.1 所示，线路中心线是指路基横断面上距外轨半个轨距的铅垂线 AB 与路肩水平线 CD 的交点 O 在纵向上的连线。

线路的平面和纵断面不但确定了线路在空间的位置，同时也为路基、桥隧建筑及站场等其他设备的设置提供依据，也对铁路通过能力及输送能力的大小有直接的影响。

线路中心线在水平面上的投影叫作线路平面。线路平面反映线路的直、曲变化状态。在线路平面设计时，为缩短线路长度并改善运营条件，应尽可能地设计为直线。但当线路遇到地形、地质与地物等障碍时，为减少工程造价和运营支出，还应当设置曲线。为使列车由曲线到直线或由直线到曲线运行平稳，还应单设置缓和曲线。所以，线路平面由直线、圆曲线以及连接直线与圆曲线的缓和曲线组成。

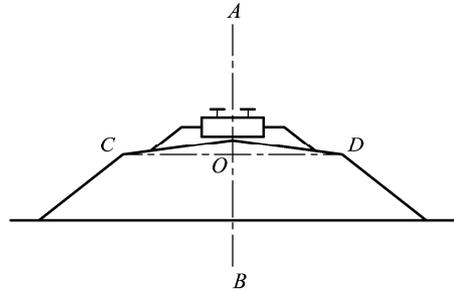


图 1.1.1 线路中心线位置示意图

一、曲线

1. 圆曲线

铁路线路在转向处所设的曲线应为圆曲线（如图 1.1.2 所示），其基本组成要素有：曲线半径（ R ）、曲线转角（ α ）、曲线长度（ L ）、切线长度（ T ）。

在线路设计时，一般是先设计出曲线转角（ α ）和曲线半径（ R ），再按下式计算出切线长度（ T ）与曲线长度（ L ）。

$$T = R \cdot \tan \frac{\alpha}{2} \quad (\text{m})$$

$$L = \frac{\pi}{180} \cdot R \cdot \alpha \quad (\text{m})$$

曲线转角（ α ）的大小由线路走向、绕过障碍物的需要等因素确定。

圆曲线半径（ R ）的大小，反映了曲线弯曲度的大小。圆曲线半径越小，弯曲度越大，越有利于绕避障碍，但行车条件越差。一般情况下，曲线半径越大，行车速度可以越高，但工程量越大，工程费用就越高。因此，正确地选用曲线半径就显得十分必要。

影响曲线半径的因素很多，有地形条件、牵引机车种类，行车速度以及运输需求等，其中列车运行速度是选择最小曲线半径的主要依据。在设计线路时，可根据具体条件尽可能选用较大的半径。

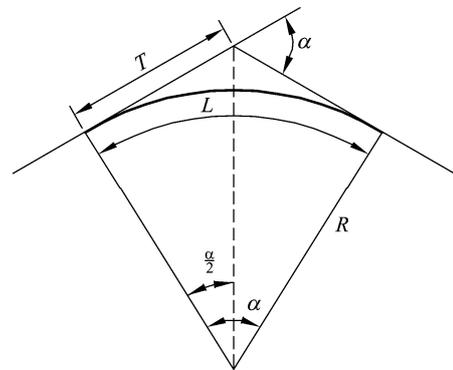


图 1.1.2 圆曲线要素图

在普速铁路上，由于旅客列车与货物列车的速度差较大，其最小曲线半径既要保证旅客列车的安全舒适，又要使货物列车通过曲线时不至于挤压和磨损内轨，载运的货物不发生移位。为了保证线路的通过能力，并有一个良好的运营条件，我国《铁路技术管理规程》(简称《技规》)(普速铁路部分)规定、级铁路区间线路最小曲线半径见表 1.1.1。

表 1.1.1 铁路区间线路最小曲线半径

铁路等级					
路段设计行车速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	200	160	120	120	80
最小曲线半径/m(工程条件一般)	3 500	2 000	1 200	1 200	600
最小曲线半径/m(工程条件困难)	2 800	1 600	800	800	500

高速铁路为保证列车运行应有速度和良好的舒适性，应选择较大的曲线半径。我国《技规》(高速铁路部分)规定高速铁路区间线路最小曲线半径见表 1.1.2。最大曲线半径为 12 000 m。

表 1.1.2 高速铁路区间线路最小曲线半径

路段设计行车速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)		工程条件	最小曲线半径/m
200	客运专线	一般	2 200
		困难	2 000
250	有砟轨道	一般	3 500
		困难	3 000
	无砟轨道	一般	3 200
		困难	2 800
300	有砟轨道	一般	5 000
		困难	4 500
	无砟轨道	一般	5 000
		困难	4 000
350	有砟轨道	一般	7 000
		困难	6 000
	无砟轨道	一般	7 000
		困难	5 500

2. 缓和曲线

(1) 缓和曲线的性质与作用。

为保证列车运行安全，线路应平顺地由直线过渡到圆曲线或由圆曲线过渡到直线，以避免离心力的突然产生和消除，常需要在直线与圆曲线之间设置一个曲率变化的曲线，这个曲线就是缓和曲线，如图 1.1.3 所示。

缓和曲线的作用主要是：在缓和曲线范围内，从所衔接的直线一端起，其曲率（ ρ ）由无穷大逐渐减小到它所衔接的圆曲线半径（ R ），从而使车辆产生的离心力逐渐增加或减小（如图 1.1.4 所示），不至于造成列车强烈的横向摇摆，有利于改善运营条件，保证列车运行安全和平顺。

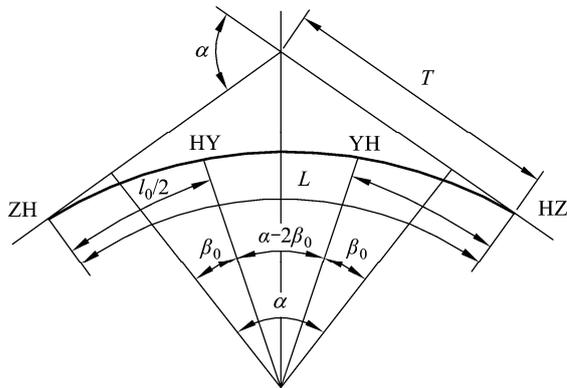


图 1.1.3 缓和曲线示意图

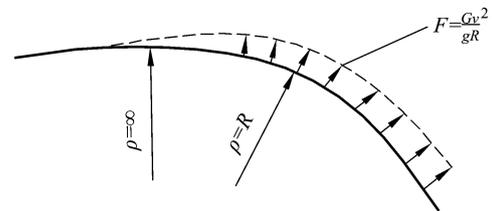


图 1.1.4 离心力变化示意图

（2）缓和曲线长度的确定。

缓和曲线的长度对列车的安全性、平顺性有直接影响。缓和曲线太短，将不利于行车的安全和平顺；但太长，又将给设置和养护带来困难。因此，缓和曲线的长度应根据曲线半径，结合该地段的行车速度和地形条件合理选用。有条件时，应尽量采用较长的缓和曲线，以便创造更有利的运营条件。

我国《铁路线路设计规范》对缓和曲线长度设置做了相应的规定（见表 1.1.3 和表 1.1.4），其长度应根据设计速度、曲线半径和地形条件合理选用。

表 1.1.3 缓和曲线长度

路段设计速度 / (km · h ⁻¹)		200		160		120		100		80	
工程条件		一般	困难	一般	困难	一般	困难	一般	困难	一般	困难
曲线 半径 /m	12 000	40	40	40	40	20	20	20	20	20	20
	10 000	50	50	50	40	20	20	20	20	20	20
	8 000	70	60	60	50	30	20	20	20	20	20
	7 000	80	70	70	50	30	20	20	20	20	20
	6 000	90	80	70	50	30	20	20	20	20	20
	5 000	90	80	70	60	40	30	20	20	20	20
	4 500	100	90	70	60	40	30	30	20	20	20
	4 000	120	110	80	70	50	30	30	20	20	20
	3 500	140	130	90	70	50	40	40	20	20	20
	3 000	170	150	90	80	50	40	40	20	20	20
	2 800	180	170	100	90	50	40	40	30	20	20
	2 500			110	100	60	40	40	30	30	20
	2 000			140	120	60	50	50	40	30	20
	1 800			160	140	70	60	50	40	30	20
	1 600			170	160	70	60	50	40	40	20

续表

路段设计速度 ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)		200		160		120		100		80	
工程条件		一般	困难	一般	困难	一般	困难	一般	困难	一般	困难
曲线半径 /m	1 400					80	70	60	40	40	20
	1 200					90	80	60	50	40	30
	1 000					120	100	70	60	40	30
	800					150	130	80	70	50	40
	700							100	90	50	40
	600							120	100	60	50
	550							130	110	60	50
	500									60	60

注：当采用表列数值间的曲线半径时，其相应的缓和曲线长度可采用线性内插值，并进整至 10 m。

表 1.1.4 高速铁路缓和曲线长度

曲线半径/m	曲线长度/m								
	设计速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)								
	350			300			250		
	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
12 000	370	330	300	220	200	180	140	130	120
11 000	410	370	330	240	210	190	160	140	130
10 000	470	420	380	270	240	220	170	150	140
9 000	530	470	430	300	270	250	190	170	150
8 000	590	530	470	340	300	270	210	190	170
7 000	670	590	540	390	350	310	240	220	190
	680*	610*	550*						
6 000	670	590	540	450	410	370	280	250	230
	680*	610*	550*						
5 500	670	590	540	490	440	390	310	280	250
	680*	610*	550*						
5 000				540	480	430	340	300	270
4 500				570	510	460	380	340	310
				585*	520*	470*			
4 000				570	510	460	420	380	340
				585*	520*	470*			
3 500							480	430	380
3 200							480	430	380
3 000							480	430	380
							490*	440*	400*
2 800							480	430	380
							490*	440*	400*

注：1. (1)、(2)、(3) 分别对应超高时变率 $f=25 \text{ mm/s}$ 、 $f=28 \text{ mm/s}$ 、 $f=31 \text{ mm/s}$ 。

2.*标志表示为曲线设计超高 175 mm 时的取值。

二、夹直线

为了保证列车运行安全与平稳，在两相邻曲线之间应设置一定长度的直线，这段直线就叫作夹直线。两相邻曲线转向相同就叫作同向曲线（如图 1.1.5a 所示），若转向相反则称为反向曲线（如图 1.1.5b 所示）。

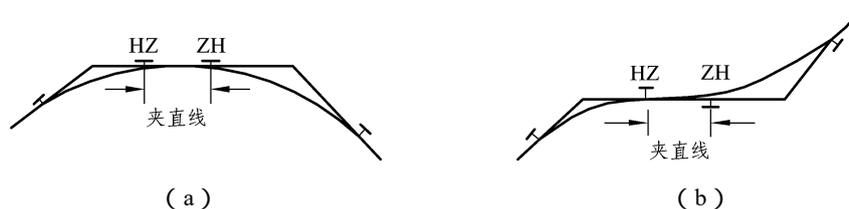


图 1.1.5 相邻曲线间的夹直线示意图

车辆运行在同向曲线上，因相邻曲线半径不同，超高高度不同，车体内倾角度不同；车辆运行在反向曲线上，因相邻曲线超高方向相反，车体时而向左倾斜，时而向右倾斜。这两种情况都会造成车体摇晃震动，夹直线愈短，摇晃振动愈大。

为保证良好的运营条件，夹直线应尽量长些。特别是反向曲线间的夹直线应更长些，因为列车通过反向曲线时，其曲线单位附加阻力比单个曲线增大，影响运行中列车的稳定与安全。根据运营实践，为保证旅客舒适，夹直线长度应保持 2~3 辆客车长度，困难条件下，也不应短于一辆客车长度。因此《铁路线路设计规范》规定了不同条件下的铁路线路两相邻曲线夹直线最小长度，客货共线铁路两相邻曲线间的夹直线最小长度见表 1.1.5。

表 1.1.5 夹直线最小长度

单位：m

路段设计速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)		200	160	120	100	80
曲线长度 /m	工程条件一般	160	1300	80	60	50
	工程条件困难	120	80	50	40	30

在行车速度较高的线路上，为保证列车运行平稳，夹直线相应要求较长。高速铁路两相邻曲线间的夹直线最小长度应根据下列公式计算确定，并符合表 1.1.6 的规定。

一般条件下： $L = 0.8v$

困难条件下： $L = 0.6v$

表 1.1.6 高速铁路夹直线最小长度

单位：m

设计速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)		350	300	250
曲线长度 /m	工程条件一般	280	240	200
	工程条件困难	210	180	150

三、曲线附加阻力 (W_r)

当列车通过圆曲线时，由于离心力的作用，外侧车轮的轮缘紧压外轨，使其磨耗增大。

又由于圆曲线外轨长于内轨，外轮在外轨上的滑行等原因，使得运行中的列车所受阻力比在直线上所受阻力大，两者之差即为曲线附加阻力，用 w_r 来表示。

曲线附加阻力与列车重量之比叫作单位曲线附加阻力，用 w_r 来表示，其计量单位为 N/kN，它的大小通常用试验公式求得：

$$w_r = 600/R \quad (\text{N/kN})$$

式中 600 试验常数；

R 圆曲线半径 (m)。

由于我们讨论的列车具有一定的长度，它在线路上运行时，又因曲线长度的不同而导致列车所受单位曲线附加阻力 (w_r) 的大小不一样。因此，我们必须分别讨论列车在不同曲线长度条件下所受的曲线附加阻力。

(1) 圆曲线长度大于或等于列车长度。

当圆曲线长度 (从 ZY 点到 YZ 点的长度) 大于或等于列车长度，列车能够整列运行在圆曲线上 (如图 1-1-6a 所示) 运行时，其列车所受最大单位曲线附加阻力 (w_r) 可直接采用上式计算。

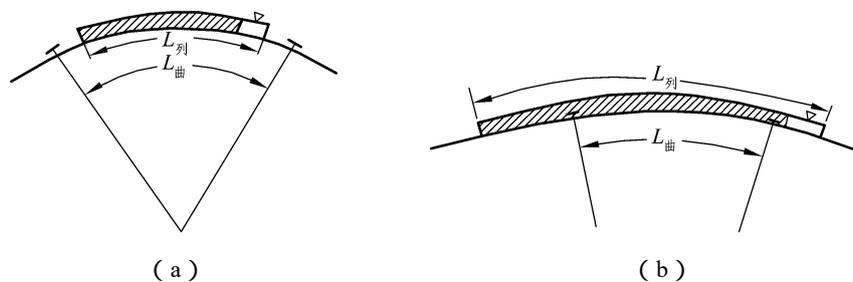


图 1.1.6 列车在曲线上运行示意图

(2) 圆曲线长度小于列车长度。

当圆曲线长度小于列车长度，列车只有一部分能够在圆曲线上 (如图 1.1.6b 所示) 运行时，其列车所受最大单位曲线附加阻力 (w_r) 的计算为：

$$w_r = \frac{600}{R} \cdot \frac{L_r}{l} \quad (\text{N/kN})$$

式中 L_r 圆曲线长度 (m)；

l 列车长度 (m)。

【例 1.1.1】 已知一列车在线路平面上的运行情况如图 1-1-7 所示。其中： $R_1 = 1\ 200\ \text{m}$ 、 $R_2 = 1\ 000\ \text{m}$ 、 $l = 1\ 000\ \text{m}$ (列车长)、 $L_1 = 800\ \text{m}$ 、 $L_2 = 400\ \text{m}$ 、 $L_3 = 100\ \text{m}$ (夹直线)；求列车在运行过程中所受最大单位曲线附加阻力 (w_r)。

解：根据分析，因 R_2 大于 R_1 ，所以当列车头部运行至曲线 L_2 的 YZ 点时，全列车所受的单位曲线附加阻力 (w_r) 为最大，则：

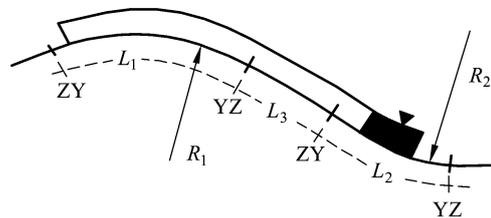


图 1.1.7 列车运行示意图

$$\begin{aligned}
 w_r &= \frac{600}{R_2} \cdot \frac{L_2}{l} + \frac{600}{R_1} \cdot \frac{l-L_2-L_3}{l} \\
 &= \frac{600}{1\,000} \cdot \frac{400}{1\,000} + \frac{600}{1\,200} \cdot \frac{1\,000-400-100}{1\,000} \\
 &= 0.49 \text{ (N/kN)}
 \end{aligned}$$

答：当列车头部运行至曲线 L_2 的 YZ 点时，全列车所受的单位曲线附加阻力 (w_r) 为 0.49 N/kN。

四、曲线地段对铁路运营工作的不利影响

由上可知，曲线阻力与曲线半径成反比。曲线半径越小，曲线阻力越大，运营条件就越差，说明采用大半径曲线对列车运行的影响较小。而小半径曲线亦具有容易适应地形困难的优点，对工程条件有利。因此，在设计铁路线路时必须根据铁路所允许的旅客列车最高运行速度，由大到小合理地选用曲线半径。为了测设、施工和养护的方便，曲线半径一般应取 50、100 的整倍数。现在我们来分析一下曲线对铁路运营工作所带来的不利影响。

1. 限制行车速度

列车通过曲线的最大允许速度 $v_{\max} = 4.3\sqrt{R}$ ，列车通过曲线的最大允许速度与曲线半径的平方根成正比。曲线半径愈小，列车通过曲线的速度受到的限制也愈大，所受的离心力也越大，不利于列车快速通过曲线。

2. 增加轮轨磨耗

列车运行在曲线上时，由于内侧与外侧钢轨的长度不等，使车辆的内轮与外轮在钢轨上产生相对纵向滑行，钢轨与轮缘磨耗增加。曲线半径愈小，这种磨耗愈严重。

3. 增加轨道设备

列车运行在曲线上时，为防止外轮对外轨挤压而引起的轨距扩大，以及钢轨带动轨枕在道床上的横向移动，对小半径曲线地段的轨道应增加轨枕根数，加设轨距杆、轨撑。

4. 增加轨道养护维修费用

小半径曲线地段的轨距、方向都极易发生变位，因此养护维修工作量较大，增加了养护维修费用。

五、识别线路平面图

线路平面图是用一定的比例尺 (1 : 2 000 或 1 : 10 000) 和规定的符号，将线路中心线

及线路两侧的地形与地物以水平投影的方式绘出的图，如图 1.1.8 所示。

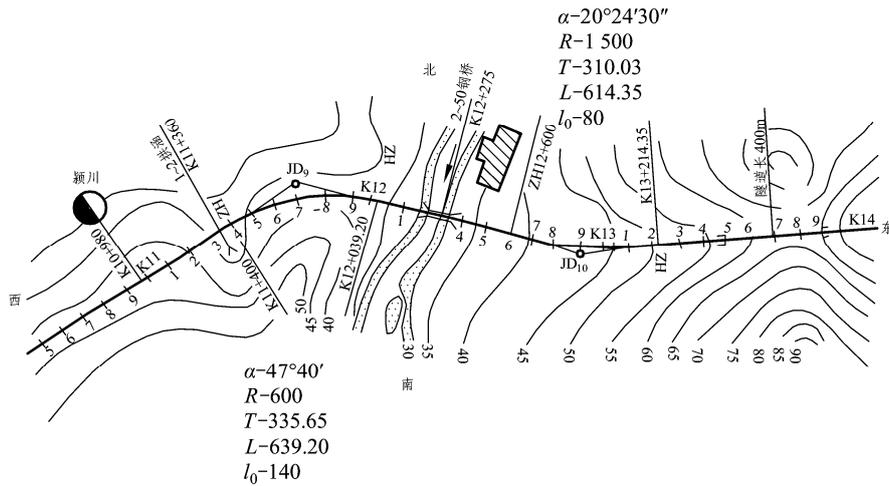


图 1.1.8 铁路线路平面示意图

1. 线路平面

图中的粗实线为线路中心线，由图可以看出线路的走向及直、曲线情况。该段线路范围包括三段直线、两段曲线，虚线为隧道。

2. 线路里程标和百米标

线路自起点开始每整千米处，注有线路里程标，如 K10 为设计里程 10 km 处。在整百米处注有百米标，如图中的 1、2、3 等。

3. 曲线要素及起、终点里程

在各曲线内侧平行于线路注有曲线要素。曲线起点 ZH（直缓点）和终点 HZ（缓直点），HY（缓圆点）和 YH（圆缓点）的里程数应垂直于线路标注在曲线内侧。

4. 各种主要建筑物

铁路沿线的桥梁、涵洞、隧道、车站等建筑物，应以规定的图例符号表示，并注明其所在位置的里程、类型及有关尺寸等。

5. 地形

在平面图中用等高线来表示铁路线路经过地的地面起伏形状，通过等高线可以判断出地形的情况。如山顶的等高线闭合，且数值从中心向四周逐渐降低；盆地或洼地的等高线闭合，且数值从中心向四周逐渐升高；等高线重合处为悬崖；等高线越密集，地形越陡峭；等高线越稀疏，坡度越舒缓。

线路平面图是铁路设计、施工和运营非常重要的技术文件。

技能训练

识别线路平面图，如图 1.1.9 所示。