



第3章

列车开行计划

3.1 全日行车计划

全日行车计划是营业时间内各个小时开行的列车数计划,它是编制列车运行图和确定车辆运用的基础资料。

全日行车计划根据营业时间内分时最大断面客流量、列车定员人数、车辆满载率,以及希望达到的服务水平进行编制。

1. 编制资料

1) 营业时间

营业时间的安排主要考虑两个因素:市民出行活动的特点,方便乘客;满足轨道交通各项设备检修施工的需要。大多数城市的轨道交通营业时间在 18~20h,个别城市是 24h 运营,如纽约和芝加哥。适当延长运营时间,是轨道交通提高服务水平的体现。

2) 分时最大断面客流量

站间 OD 客流数据是计算最大断面客流量的原始资料。根据站间 OD 客流数据,首先计算出各站上下车人数,然后计算出断面客流量,最后得到最大断面客流量。

对于新投入运营线路,站间 OD 客流数据来源于客流预测资料;对于既有运营线路,站间 OD 客流数据来源于客流统计或客流调查资料。

分时最大断面客流量有两种确定方法:

(1) 在已知高峰小时最大断面客流量的基础上,根据分时客流占高峰小时客流的比例进行确定;

(2) 在已知全日最大断面客流量的基础上,根据分时客流占全日客流的比例进行确定。

3) 列车定员数

列车定员数是列车编组辆数和车辆定员数的乘积。

列车编组辆数的确定以高峰小时最大断面客流量作为基本依据。此外还取决于列车间隔、车辆选型、站台长度和轨道交通保有的运用车辆数等因素。

车辆定员数取决于车辆的尺寸、车厢内座位布置方式和车门设置数。一般来说,车辆长度尺寸越大载客越多,车厢内座位纵向布置较横向布置载客要多。

4) 线路断面满载率

线路断面满载率即单位时间内、特定断面上的车辆载客能力利用率。通常是指早高峰小时、单向最大客流断面的车辆载客能力利用率。反映了列车在最大客流断面的满载程度,也反映了乘客的舒适程度。为提高车辆利用率、降低运输成本,在编制全日行车计划时,高峰小时可适当超载。

2. 编制步骤

(1) 计算分时开行列车数:

$$n_i = \frac{p_{\max}^i}{p_{\text{列}} \beta} \quad (3-1)$$

式中: n_i ——分时开行列车数,列或对;

$p_{\max}^i$ ——分时最大断面客流量,人;

$p_{\text{列}}$ ——列车定员数,人;

β ——线路断面满载率。

(2) 计算分时分车间隔:

$$t_{\text{间隔}}^i = \frac{3600}{n_i} \quad (3-2)$$

式中: $t_{\text{间隔}}^i$ ——分时分车间隔,s。

(3) 最终确定全日行车计划。

在计算得出分时开行列车数和分时分车间隔的基础上,应检查是否存在某段时间内分时分车间隔过长的情形。

为提高服务水平,轨道交通的分时分车间隔在非高峰运营时间的9:00—21:00一般不宜大于6min,在其他非高峰运营时间一般不宜大于10min。

高峰小时的分时分车间隔的确定应检验与列车折返能力是否相适应。

3. 编制算例

第一步: 计算分时最大断面客流量。

根据轨道交通线路站间到发 OD 客流量表,计算出全日最大断面客流量。然后根据各时间段客流量与最大断面客流量的比例关系,算得分时最大断面客流量数据。

例 1 已知某线路高峰小时站间到发 OD 客流量如表 3-1 所示。

根据 OD 客流量表,首先计算得出各车站分方向别上下车人数,如表 3-2 所示。计算方法为: 先规定好行车方向,如规定 A 至 H 为下行方向,则 OD 表中对角线的上三角部分数据为下行客流数据,而下三角部分数据为上行客流数据。某车站下行方向的上客人数为该车站所在行中上三角数据部分除去合计之外的数据之和; 而该车站下行方向的下客人数为该车站所在列中上三角数据部分的数据之和。反之,若是上行方向,则取下三角部分的数据即可,其他方法相同。

表 3-1 站间到发 OD 客流量表

发/到	A	B	C	D	E	F	G	H	合计
A	—	5830	5200	6200	3505	8604	9620	17658	56617
B	6890	—	1420	4575	3694	5640	6452	14566	43237
C	4580	1212	—	423	724	2100	2430	3511	14980
D	6520	2454	523	—	423	1247	1434	3569	16170
E	3586	1860	866	513	—	356	1211	2456	10848
F	7625	6320	1724	2413	385	—	750	4857	24074
G	9654	8214	2130	4547	1234	960	—	1463	28202
H	15607	12500	4324	5234	2567	5427	2401	—	48060
合计	54462	38390	16187	23905	12532	24334	24298	48080	242188

表 3-2 各车站分方向别上下车人数

下行上客数	下行下客数	车站	上行上客数	上行下客数
56617	0	A	0	54462
36347	5830	B	6890	32560
9188	6620	C	5792	9567
6673	11198	D	9497	12707
4023	8346	E	6825	4186
5607	17947	F	18467	6387
1463	21897	G	26739	2401
0	48080	H	48060	0

根据式(3-1),从起始站开始,逐个推算上下行方向各断面的客流量数据。如上例,下行方向从 A 站开始推算,上行方向从 H 站开始推算。得到各断面分方向别客流量如表 3-3 所示。

表 3-3 各断面分方向别客流量

下行	区间	上行	下行	区间	上行
56617	A—B	54462	80854	E—F	84478
87134	B—C	80132	68514	F—G	72398
89702	C—D	83907	48080	G—H	48060
85177	D—E	87117			

从表 3-3 即可得到最大客流断面为 C—D 段下行区间,其客流量为 89702 人。
若各时间段客流量与高峰小时客流量的比例如表 3-4 所示,则可计算出分时最大断面客流量。

表 3-4 分时客流量与高峰小时客流量比例

时间段	比例	客流量	开行 列车数	时间段	比例	客流量	开行 列车数
5:00—6:00	0.18	16146	10	14:00—15:00	0.57	51130	31
6:00—7:00	0.41	36778	22	15:00—16:00	0.68	60997	37
7:00—8:00	1	89702	44	16:00—17:00	0.86	77144	38
8:00—9:00	0.74	66379	40	17:00—18:00	0.63	56512	34
9:00—10:00	0.49	43954	27	18:00—19:00	0.43	38572	23
10:00—11:00	0.52	46645	28	19:00—20:00	0.34	30499	19
11:00—12:00	0.64	57409	35	20:00—21:00	0.27	24220	15
12:00—13:00	0.59	52924	32	21:00—22:00	0.24	21528	13
13:00—14:00	0.55	49336	30	22:00—23:00	0.16	14352	9

第二步：计算分时开行列车数。

按照式(3-1)计算。上例中,设车辆定员为 310 人,列车编组为 6 辆,满载率早晚高峰小时为 1.1,其他时间段为 0.9,则高峰小时客流断面的开行列车数计算如下,同理算得各时间段的开行列车数如表 3-4 所示。

$$n=\frac{89702}{310\times6\times1.1}\text{辆}=43.84\text{ 辆}\approx44\text{ 辆}$$

由于列车数只能是整数,所以计算结果必须取整。轨道交通属于公共客运服务,正常的客运需求如无特殊情况必须满足,所以取整方法一般都是向上取整,即不论小数点后为多少,一律进一。个别情况除外,即当满载率取值为小于 1 时,并且小数点后的值较小时,可以向下取整,如表 3-4 中 18:00—19:00 时间段所示。这是由于满载率取值小于 1,代表所提供的服务水平高于标准服务水平,列车还有一定的载客潜力,同时又因为多出的客流量不大,通过挖掘各趟列车的载客潜力即可完成客流量运输任务,从节约成本的角度出发,不用加开一列列车。

第三步：计算分时行车间隔。

按照式(3-2)计算得出各时间段的分时行车间隔如表 3-5 所示。

表 3-5 分时行车间隔计算结果

时间段	列车数	计算行车间隔/s	最终行车间隔/s
5:00—6:00	10	360	360
6:00—7:00	22	164	164
7:00—8:00	44	82	82
8:00—9:00	40	90	90
9:00—10:00	27	133	133
10:00—11:00	28	129	129
11:00—12:00	35	103	103
12:00—13:00	32	113	113
13:00—14:00	30	120	120
14:00—15:00	31	116	116
15:00—16:00	37	97	97

续表

时间段	列车数	计算行车间隔/s	最终行车间隔/s
16:00—17:00	38	95	95
17:00—18:00	34	106	106
18:00—19:00	23	157	157
19:00—20:00	19	189	189
20:00—21:00	15	240	240
21:00—22:00	13	277	277
22:00—23:00	9	400	400

第四步：最终确定全日行车计划。

在计算得出分时开行列车数和行车间隔的基础上，应检查是否存在某段时间内行车间隔过长的情形。

为提高服务水平，轨道交通的行车间隔在非高峰运营时间的 9:00—21:00 一般不宜大于 6min，在其他非高峰运营时间一般不宜大于 10min（各城市轨道交通线路根据自身情况具体规定有所不同）。

高峰小时行车间隔的确定应检验与列车折返能力是否相适应。

算例中，经检查，计算所得的行车间隔都满足服务水平要求，不用调整，因此作为最终行车间隔取用，如表 3-5 所示。

3.2 列车开行方案

列车开行方案包括列车编组方案、列车交路方案和列车停站方案三部分。列车编组方案规定了列车是固定编组还是非固定编组，以及编组辆数。列车交路方案规定了列车的运行区段与折返车站。列车停站方案规定了列车是站站停车还是非站站停车，以及非站站停车的方式。此外，列车开行方案还规定了按不同编组、交路和停站方案开行的列车数。

列车开行方案是日常运营组织的基础。列车开行方案的比选应遵循客流分布特征与运营经济合理兼顾的原则，以实现既能维持较高的乘客服务水平，又能提高车辆运用效率的目标。

1. 列车编组方案

1) 列车编组种类

大编组方案是指在运营时间内列车编组辆数固定且相对较多，如地铁列车采用的 6 辆或 8 辆编组的情形。

小编组方案是指在运营时间内列车编组辆数固定且相对较少，如地铁列车采取 3 辆或 4 辆编组的情形。

大小编组方案是指在运营时间内列车编组辆数不固定。一种是在客流非高峰时段编组辆数相对较少，在客流高峰时段编组辆数相对较多，如 3/6、4/6、4/8 辆编组；另一种是在全日运营时间内均采用大小编组。

离开一定的客流条件来讨论列车编组方案的比选是无意义的。只有在客流尚未达到远期设计客流量，并且分时客流不均衡程度较大的情况下，才有必要对列车编组方案进行

比选。

2) 影响列车编组方案比选的因素

影响列车编组方案选用的主要因素是客流、通过能力和车辆选型。此外还应考虑乘客服务水平、车辆运用经济性和运营组织复杂性等因素。

(1) 客流因素：主要是指高峰小时最大断面客流与分时客流不均衡程度。在车辆选型、列车间隔一定的情况下，客流较大，列车编组也较大。

(2) 车辆选型的依据是高峰小时最大断面客流量，在高峰小时最大断面客流量 ≥ 3 万人时应采用 A 型车和 B 型车，车辆定员分别为 310 人和 230 人。

从提供必要的小时列车运能出发，在车辆定员一定的情况下，为适应小编组方案，列车间隔应相应压缩，但列车间隔的压缩受到线路通过能力和列车折返能力的制约。

(3) 乘客服务水平因素：在进行列车编组方案比选时，应考虑不同编组方案的乘客服务水平。在客流量不大、列车密度较低的情况下，与大编组方案相比，采用小编组方案时的乘客候车时间较短。因此，小编组方案有助于提高乘客服务水平。

(4) 车辆运用经济性：采用小编组方案，对提高列车满载率及降低牵引能耗具有积极的意义，但动车比例的增加会导致车辆平均价格的上升，而小编组列车开行数的增加也会使乘务员配备数增加。

(5) 运营组织复杂性：与采用固定编组方案相比，在选用大小编组方案时，列车的编组与解体、高峰与非高峰时段的过渡以及列车间隔的调整等均增加了运营组织的复杂程度。

2. 列车交路方案

1) 列车交路种类

列车交路有常规交路、混合交路和衔接交路三种。

(1) 常规交路又称为长交路，列车在线路的两个终点站间运行，到达线路终点站后折返（见图 3-1）。

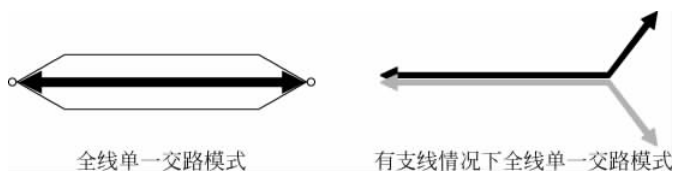


图 3-1 常规交路模式

采用常规交路方案行车组织简单、乘客无须换乘、不需要设置中间折返站。若线路各区段断面客流不均衡程度较大，则会产生部分区段列车运能的浪费。

(2) 混合交路又称为长短交路，长短交路列车在线路的部分区段共线运行，长交路列车到达线路终点站后折返，短交路列车在指定的中间站单向折返（见图 3-2）。

采用混合交路方案可提高长交路列车满载率、加快短交路列车周转，但部分乘坐长路列车乘客的候车时间增加，需要设置中间折返站。

(3) 衔接交路又称为短交路，是若长短交路的衔接组合，列车只在线路的某一区段内运行，在指定的中间站折返（见图 3-3）。

采用衔接交路方案可提高断面客流较小区段的列车满载率，但跨区段出行的乘客需要换乘，以及需要设置中间折返站。短交路列车在中间站是双向折返，增加了折返作业的复杂性。

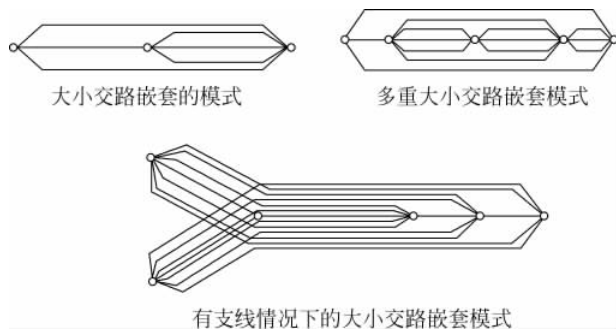


图 3-2 混合交路模式



图 3-3 相互衔接的小交路模式

2) 影响列车交路方案比选的因素

符合客流的空间分布特征是列车交路方案选用的前提条件和必要条件。影响列车交路方案的比选因素如下：

(1) 客流的空间分布特征：只有在线路各区段断面客流分布不均衡程度较大时，才有必要对常规交路和特殊交路方案进行比选。

在断面客流分布为阶梯形时可选用混合交路或衔接交路方案；在断面客流分布为凸字形时可选用混合交路方案；在断面客流分布比较均衡时，一般选用常规交路方案。

(2) 乘客服务水平：在采用混合交路时，部分乘坐长交路列车的乘客会增加候车时间；在采用衔接交路时，跨区段出行的乘客需要在中间折返站换乘。因此，采用特殊交路会使部分乘客增加出行时间从而引起乘客服务水平的下降。

特殊交路方案对乘客服务水平影响的程度，取决于乘坐长交路列车或跨区段出行乘客的数量及其所占比例。如果乘客出行时间增加较大，一般不宜采用特殊交路方案。

(3) 运营经济性：采用特殊交路能提高列车满载率、加快列车周转、减少运用车数，从而提高车辆运营经济性、降低运营成本。但由于需要在中间站铺设折返线、道岔和安装信号设备，因此也会增加投资和运营费用。

(4) 通过能力适应性：在采用特殊交路方案时，不同交路列车的折返作业可能会产生进路干扰，此时，线路折返能力，甚至最终通过能力均有可能降低。因此，通过能力是否适应是采用特殊交路方案的充分条件之一。

(5) 运营组织复杂性：由于列车按不同的交路运行并在中间站折返，以及需要加强站台乘车导向服务，特殊交路方案的运营组织要比常规交路方案复杂。

此外，在采用特殊交路方案时，中间折返站的选择也是运营组织中需要考虑的问题。

3. 列车停站方案

1) 列车停站种类

(1) 站站停车：列车在全线所有车站均停车(见图 3-4)。

优点：线路上开行列车种类简单，不存在列车越行，乘客无须换乘，也无须关注站台上

的列车信息显示。

缺点：在跨区段、长距离出行乘客比例较大时，站站停车在车辆运用与服务水平方面均未达到最佳状态。

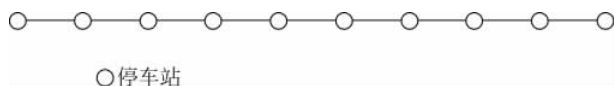


图 3-4 站站停车方案示意图

(2) 区段停车：在长短交路情况下采用，长交路列车在短交路区段外每站停车，但在短交路区段内不停车通过；而短交路列车则在短交路区段内每站停车，短交路列车的终点站同时又是乘客换乘站（见图 3-5）。

优点：采用区段停车方案有利于压缩长距离出行乘客的乘车时间和减少车辆运用、降低运营成本。

缺点：在行车量较大的情况下可能会产生越行，需要修建侧线；且在不同交路区段上下车的乘客会增加换乘时间，而在短交路区段内上下车的乘客会延长候车时间。

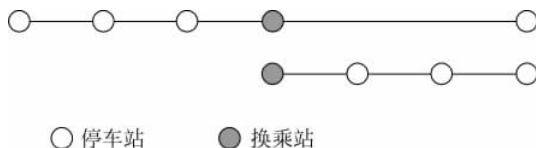


图 3-5 区段停车方案示意图

(3) 跨站停车：在长交路的情况下采用，将线路上开行的列车分为 A、B 两类，全线的车站分为 A、B、C 三类，其中 A、B 类车站按相邻分布的原则设置，C 类车站按每隔 4 或 6 个车站选择一个的原则设置（见图 3-6）。

A 类车在 A、C 类车站停车，在 B 类车站通过；B 类车在 B、C 类车站停车，在 A 类车站通过。

优点：跨站停车方案比较适用于 C 类车站上下车客流较大，并且乘客乘车距离较远的情形。

缺点：由于 A、B 两类车站的列车到达间隔加大，在 A、B 两类车站上车乘客的候车时间有所增加；此外，在 A、B 两类车站间上下车的乘客需要在 C 类车站换乘，会增加换乘时间及带来不便。

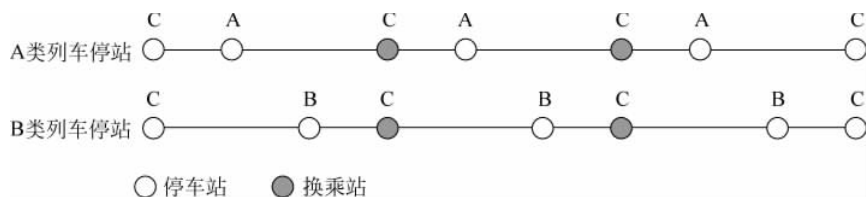


图 3-6 跨站停车方案示意图

(4) 部分列车跨多站停车：是指线路上开行两类长交路列车，即普速、站站停列车和快速、跨多站停列车，快速列车只在线路上的主要客流集散站停车，而在其他站则不停站通过

(见图 3-7)。

优点：该停车方案在提高跨多站停车列车旅行速度的同时，避免了跨站停车方案存在的部分乘客需要换乘问题，做到既能提高运营经济性，又不降低对乘客的服务水平。且该停车方案运用比较灵活，运营部门可根据客流特征、按不同比例确定快速列车开行对数。

缺点：在线路通过能力利用率比较高的情况下，采用该停车方案通常会引起快速列车越行普速列车；如果不安排列车越行，则只能以损失线路通过能力来保证追踪列车间隔时间。

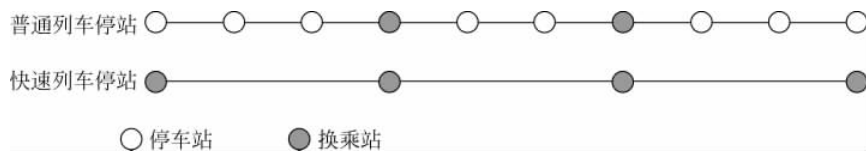


图 3-7 部分列车跨多站停车方案示意图

2) 影响列车停站方案比选的因素

(1) 站间 OD 客流特征：在长距离出行乘客比例较大及某些发到站间的直达客流也较大时，采用非站站停车方案通常是有利的。在线路上以同一区段内发到的短途客流为主时，不宜采用非站站停车方案。

(2) 乘客服务水平：采用非站站停车方案是否可行，应根据站间 OD 客流，定量分析计算长途乘客节约的出行时间与部分乘客增加的换乘与候车时间。如果乘客的节约时间总和大于增加时间总和，或者乘客的节约时间与增加时间基本持平，采用非站站停车方案是可行的，能提高或至少不降低乘客服务水平。

(3) 列车越行问题：采用非站站停车方案，必须对列车越行相关问题，如列车越行判定条件、越行站设置数量及位置等做进一步分析。

(4) 运营经济性：非站站停车方案能加快列车周转、减少运用车数，从而降低运营成本。但采用非站站停车方案时，通常要在部分中间站增设越行线，车站土建与轨道等费用的增加会引起车站造价上升。

(5) 运营组织复杂性：由于各类列车的停站安排不同以及列车在中间站越行，控制中心、车站控制室对列车运行的监控以及站台上的乘车导向服务均应加强。因此，非站站停车方案的运营组织要比站站停车方案复杂。

4. 若干相关问题

1) 方案选优

列车开行方案选优，首先是列车编组、列车交路与列车停站方案的初步选优，然后是列车开行方案的综合选优。

影响列车开行方案选优的因素包括多个方面，每个方面又有若干评价指标，它们分别从某一侧面反映了列车开行方案的某个特征。因此，列车开行方案选优是一个复杂的多指标综合评价问题。

列车开行方案选优的评价指标包括五个方面。

(1) 乘客服务水平：包括乘客乘车时间、候车时间、换乘时间、换乘次数和平均出行速

度等。

(2) 车辆运用：包括列车周转时间、旅行速度、运用车数、日车走行公里和车辆满载率等。

(3) 通过能力适应性：主要是评价列车开行方案实施后的能力损失，以及最终通过能力是否适应。包括线路通过能力利用率、列车折返能力利用率等。

(4) 运营组织复杂性：运营组织很复杂的列车开行方案，实践中通常不为运营部门所接受。在列车开行方案选优时，可用等级或排序的方式来反映运营组织的复杂程度。

(5) 运输成本：包括车辆购置费用、增设折返线费用、增设越行线费用、列车运行距离相关费用和乘务人员费用等。

2) 列车越行

(1) 越行判定条件：如图 3-8 所示，A、B 两站间的车站数为 $n-2$ ，前行列车为 A、B 两站间开行的站站停车列车，后行列车为 A、B 两站间开行的不停站列车；前、后行列车在 A、B 两站间的运行时间分别为 $T_{\text{前行}}$ 和 $T_{\text{后行}}$ ，前、后行列车在 A 站的发车间隔时间为 $T_{\text{间隔}}$ 。

$$\begin{cases} T_{\text{前行}} = \sum_{i=1}^{n-1} t_{\text{运},i} + \sum_{j=2}^{n-1} t_{\text{站},j} \\ T_{\text{后行}} = T_{\text{前行}} - \sum_{j=2}^{n-1} (t_{\text{停},j} + t_{\text{站},j} + t_{\text{起},j}) \end{cases} \quad (3-3)$$

式中： $t_{\text{运},i}$ ——第 i 区间的列车运行时间，s；

$t_{\text{站},j}$ ——第 j 站的列车停站时间，s；

$t_{\text{停},j}$ ——第 j 站的停车附加时间，s；

$t_{\text{起},j}$ ——第 j 站的启动附加时间，s。

后行列车是否会越行前行列车，可按前、后行列车到达 B 站的间隔时间是否大于或等于追踪间隔时间 h 的条件来判定。

在 $T_{\text{间隔}} + T_{\text{后行}} - T_{\text{前行}} \geq h$ 时，后行列车在 A、B 两站间不越行前行列车；在 $T_{\text{间隔}} + T_{\text{后行}} - T_{\text{前行}} < h$ 时，后行列车在 A、B 两站间越行前行列车。

(2) 越行站设置数量：先假设前行站站停车列车与后行不停站列车的开行比例为 $p:1$ (p 为整数)，此时，后行列车越行前行列车的次数即为需要设置的越行站数(见图 3-9)。

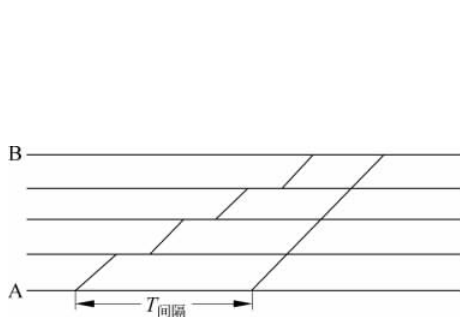


图 3-8 越行判断条件

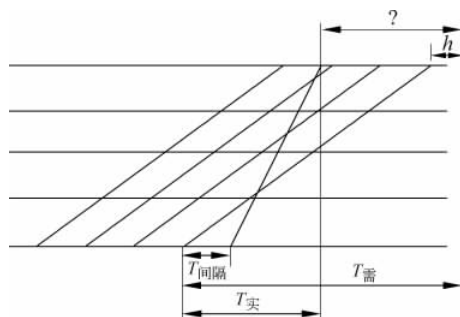


图 3-9 越行站设置数量计算示意图