

# 高桩码头伸缩缝对铁路钢轨变形影响的探讨

姬淑琴

(天津港务局, 天津 300456)

**摘要:**提出了高桩码头连接段伸缩缝布置位置与铁路钢轨变形的关系及码头连接段伸缩缝布置的原则。同时探讨了码头补开伸缩缝对钢轨变形的影响及减小对钢轨变形的措施, 这些结论对码头上设置的门机轨及集装箱桥吊轨的变形也同样适用。

**关键词:**高桩码头; 伸缩缝; 钢轨; 变形

**中图分类号:**TV698.1+1

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-8443(2002)S0-0226-06

高桩码头前承台一般均布置铁路线, 用列车来集散到港的物资。为了列车运营的安全, 要求铁路线不能产生过大的变形。由于高桩码头的上部结构受到气温变化的影响, 会产生热胀冷缩, 为了使高桩码头的上部结构不产生过大的温度应力而破损, 所以一般将高桩码头的上部结构分成若干结构段, 结构段与结构段之间留有伸缩缝, 使相邻结构段之间可以产生相对变位, 用来释放温度应力。由于结构段之间的相对变位会引起布置在高桩码头上部结构的铁路钢轨发生变形, 给列车的运营带来事故的隐患, 为此对高桩码头伸缩缝与铁路钢轨变形间的关系进行探讨。

## 1 伸缩缝布置位置对铁路钢轨变形的影响

天津港 21~22 段码头连接段设计时留了一条伸缩缝, 位置在图 1 的 A-A 处。当气温变化时, 21 段码头受到 22 段码头的约束不能自由伸缩, 从而在 21 段码头与 22 段码头的连接部位 B-B 处产生温度应力, 设温度应力的合力为  $N$ , 它作用在 22 段码头的前承台上。由于 22 段码头前承台的 A-A 部位设计了一条伸缩缝, 而只有钢轨相连接, 因此伸缩缝 A-A 处的抗剪度很小, 在温度力  $N$  的作用下伸缩缝 A-A 处的钢轨会产生扭曲变形。从而可知 22 段码头 A-A 部位的铁路钢轨会随一年四季气温变化而发生周而复始的扭曲变形。天津港 22 段及 21 段码头分别建于 1980 年及 1981 年, 由于 A-A 部位钢轨发生扭曲变形使 22 段码头建成至今一直没有通过火车, 现在 22 段码头靠汽车来集散货物, 影响码头的利用率。

由以上例子可知, 当相邻两码头岸线成  $\alpha$  角时 ( $\alpha \neq 0^\circ$  或  $180^\circ$ ), 码头连接段伸缩缝布置的位置同前承台铁路的钢轨变形有密切的关系, 如果伸缩缝布置的位置不合理, 会使码头前承台布置的铁路钢轨发生扭曲变形而无法通火车。

如果将图 1 的伸缩缝布置在 21 段码头的 B-B 位置, 当气温升高或降低时, 21 段码头可以自由伸缩, B-B 就是给 21 段码头自由伸缩的预留伸缩缝, 释放温度应力, 因此 22 段码头前承台不受 21 段码头温度应力的影响, 则 22 段码头的铁路钢轨不会因气温变化而产生扭曲变形。

天津港 21 段与 22 段码头连接部位的伸缩缝设计得不合理, 使码头建成 20 多年来无法通火车, 可见码头上火车的运营状态同伸缩缝布置的位置密切相关。如果设计时将伸缩缝布置在 B-B 位置, 就不会产生

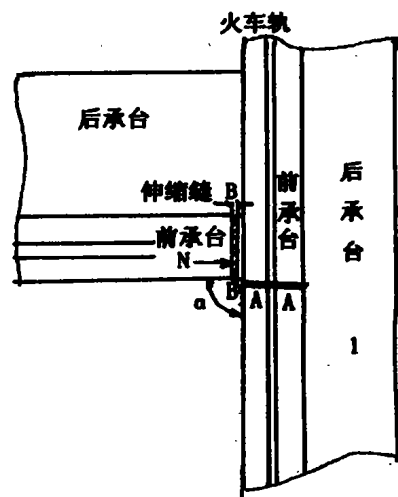


图 1 码头连接段的伸缩缝布置

收稿日期: 2002-05-15

作者简介: 姬淑琴(1953-), 女, 天津市人, 助理工程师, 主要从事港口铁路设施的技术管理。



22 段码头钢轨变形的现象, 22 段码头通火车也不成问题, 因此以后对码头岸线不在一个方向的相邻两码头连接部位伸缩缝布置应慎重。

综上所述, 相邻码头间伸缩缝对于相邻码头的岸线在同一方向, 伸缩缝布置方向与火车钢轨的方向相垂直, 气温变化时, 钢轨不产生扭曲变形, 只产生上拱现象。当相邻码头的岸线成某一角度  $\alpha (\alpha \neq 0^\circ \text{ 或 } 180^\circ)$  时, 相邻码头连接部位的伸缩缝方向应与钢轨的方向相平行。

## 2 补开伸缩缝对铁路钢轨变形的影响

在码头建设中, 由于设计的原因该布置伸缩缝的部位没有布置伸缩缝, 由于施工的原因, 该留伸缩缝的部位没有留伸缩缝, 从而产生过大温度应力而使码头结构发生破损的事例也时有发生。如天津港 1961 年建的 14~15 段高桩码头, 由于码头结构之间的伸缩缝已封死、使该码头与相邻的 13 段及 16 段码头相连接的甲区、乙区和戊区有不少桩、桩帽和管沟梁出现较严重的破损, 经调查资料分析得知, 码头结构段间伸缩缝封死而失去释放温度应力的功能有直接关系, 因此决定在 13 段与连接段甲区之间、连接段乙区与 14 段丙区之间、15 段丙<sub>3</sub> 区与戊区之间补开三条伸缩缝, 这三条伸缩缝均有火车钢轨或门机轨通过<sup>[1]</sup>。下以 13 段码头与 14 段码头甲区间补开伸缩缝为例, 说明补开伸缩缝对铁路钢轨变形的影响。

### 2.1 伸缩缝两侧码头相对变位的测量

#### (1) 测点布置

伸缩缝两侧码头相对变位的测点布置如图 2 所示。

#### (2) 伸缩缝两侧码头相对变位观测的基本原理

如图 2 所示, 在伸缩缝两侧则分别埋设 A、B、C 三个测点, 由此三点构成  $\triangle ABC$ 。AD 为 BC 边上的高, 设  $AD = x$ 、 $DB = y$ 、 $BC = a$ 、 $AC = b$ 、 $AB = c$ , 其关系如图 3 所示。

根据勾股定理得:

$$\left. \begin{aligned} x^2 + y^2 &= c^2 \\ x^2 + (a - y)^2 &= b^2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

解方程(1)得:

$$\left. \begin{aligned} x &= \sqrt{c^2 - \left(\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2a}\right)^2} \\ y &= \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2a} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

#### (a) 伸缩缝宽度变化的测量及计算

将 A、B、C 测点埋好后先进行第 1 次测量, 测得三个测点间距离分别为  $a_1$ 、 $b_1$ 、 $c_1$  (测量三个测点间的距离用量程为 500 mm 的游标卡尺, 计算 A、B、C 三点间距离时要注意将游标卡尺的测量值减去测点的直径) 及测量时测点位置的温度  $t_1$ , 作为计算伸缩缝两侧码头相对变位的基数。设第  $i$  次测量的三个测点间距离分别为  $a_i$ 、 $b_i$ 、 $c_i$  及测量时温度  $t_i$ , 则第  $i$  次测量时刻相对于第 1 次测量时刻的伸缩缝宽度的相对变化量  $\Delta x_i$  为:

$$\Delta x_i = x_i - x_1 \quad (3)$$

#### (b) 伸缩缝两侧码头相对错动的测量及计算

由测量得  $a_i$ 、 $b_i$ 、 $c_i$  值计算得的  $y_i$  中有两部分组成, 其中一部分温度变化使 A、B 两个测点沿伸缩缝方向产生的相对变位  $y_{it}$ , 另一部分是伸缩缝两侧码头产生相对错动而产生的相对变位  $y_{is}$ 。由于测点 A、B、C 布置在较小的范围, 所以可以认为此三测点的

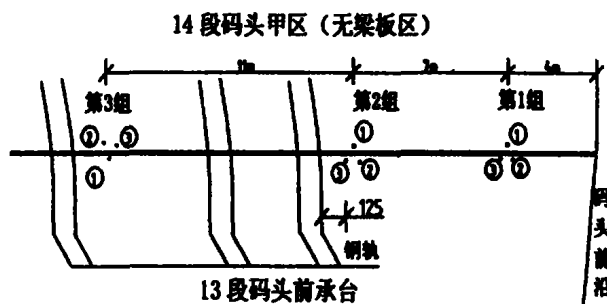


图 2 伸缩缝两侧码头相对变位测点布置图

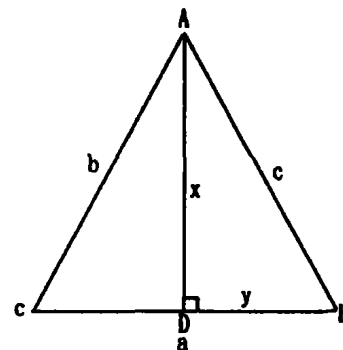


图 3 测点间关系



温度是相等的。另外测点 B、C 点布置在伸缩缝的同一侧, 所以此两测点间不会产生相对错动, 只有温度变化引起此两测点间距离的变化, 考虑到 B、C 测点的温度相等,  $y_{ii}$  可由下式求得:

$$y_{ii} = \frac{y_1(a_i - a_1)}{a_1} \quad (4)$$

从而可得伸缩缝两侧码头相对错动的变位  $\Delta y_i$  为:

$$\Delta y_i = (y_i - y_{ii}) - y_1 = y_{is} - y_1 \quad (5)$$

综上所述, 可以根据  $i$  时刻测得的  $a_i$ 、 $b_i$ 、 $c_i$  值, 由式(2)、式(3)、式(4)、式(5)可以计算出伸缩缝宽度的变化  $\Delta x_i$  及伸缩缝两侧码头间的相对错动  $\Delta y_i$ 。

(c) 伸缩缝两侧码头高差的测量及计算

测出 A、B、C 三测点的相对标高分别为  $h_a$ 、 $h_b$ 、 $h_c$ , B、C 是同一码头的相邻两个测点, 所以取 B、C 两测点的相对标高平均值代表该码头的相对标高, 即:

$$h_{bc} = \frac{h_b + h_c}{2} \quad (6)$$

从而得第  $i$  次测量的伸缩缝两侧码头的高差  $\Delta h$  为:

$$\Delta h_i' = h_{ai} - h_{bci} \quad (7)$$

式中:  $\Delta h_i'$  为第  $i$  次测量的伸缩缝两侧码头的高差;  $h_{ai}$  为第  $i$  次测量 A 测点的相对标高;  $h_{bci}$  为第  $i$  次测量 B、C 测点相对标高的平均值。

则伸缩缝两侧码头高差的相对变化  $\Delta h_i$  为:

$$\Delta h_i = \Delta h_i' - \Delta h_1 \quad (8)$$

式(8)中:  $\Delta h_1$  为第 1 次测量时伸缩缝两侧码头的高差。

2.2 伸缩缝附近钢轨变形的测量

钢轨变形分平整度及扭曲两种变形, 它们的测量原理分别为:

(1) 测点布置

伸缩缝附近钢轨变形测点布置如图 4 所示。

(2) 伸缩缝附近钢轨变形的测量原理

(a) 钢轨平整度变化的测量及计算

在进行钢轨平整度变化的测量时, 先要选择测量的基准点, 用 DS800 自动安平精密水准仪和 5 m 铝合金塔尺测取轨顶测点的相对高程。第 1 次测得轨顶测点的相对高程为  $\Delta h_{1j}$  ( $j = 1, 2, \dots, 10$  为测点序号), 将它作为钢轨平整度变化的基准。在进行第  $i$  次测量时 ( $i = 1, 2, \dots$  为测量次数), 可得轨顶测点的相对高程为  $\Delta h_{ij}$ , 则每个测点钢轨平整度的变化量  $\Delta h_{ij}$  为:

$$\Delta h_{ij} = h_{ij} - h_{1j} \quad (i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, 10,) \quad (9)$$

(b) 钢轨扭曲变形的测量

在进行钢轨扭曲变形测量时, 先在钢轨旁两个预埋点之间拉上细铁丝, 并用张紧器拉紧, 用游标卡尺测轨顶测点位置的轨侧与细铁丝间的距离  $S$ 。第 1 次测量值为  $S_{1j}$  ( $j = 1, 2, \dots, 10$ ), 它作为钢轨扭曲变形的基准。测量完毕后, 将细铁丝放松取下, 等下一次测量时再将它布置在预埋点之间, 并用张紧器将它拉紧则可测得第  $i$  次轨顶测点位置的轨侧与细铁丝间的距离  $S_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, 10$ )。钢轨扭曲变形与测量值之间的关系如图 5 所示。图 5 中  $\Delta S_0$  为测量基线的平移量,  $\Delta S_{ij}'$  为第  $i$  次测量时  $j$  测点基线转动产生的附加变形量,  $l_0$  为测点 1~测点 10 之间的距离,  $l_i$  为测点 1~测点  $i$  之间的距离。由图 5 可知:

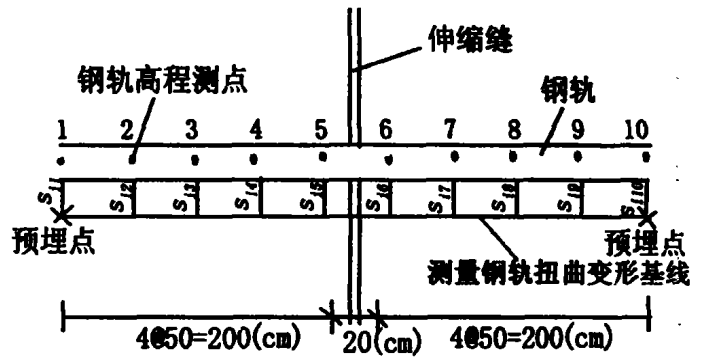


图 4 钢轨变形测点布置

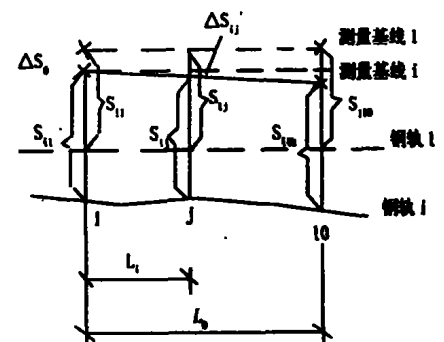


图 5 钢轨扭曲变形测量值之间的关系



$$\Delta S_{ij}' = (S_{i1} - S_{i10}) \cdot \frac{l_i}{l_0} \quad (10)$$

从而可得第  $i$  次测量时测点  $j$  的相对变位  $\Delta S_{ij}$  为:

$$\begin{aligned} \Delta S_{ij} &= S_{ij} + \Delta S_{ij}' + \Delta S_0 - S_{1j} \\ &= S_{ij} + (S_{i1} - S_{i10}) \cdot \frac{l_i}{l_0} + \Delta S_0 - S_{1j} \end{aligned}$$

考虑到码头向海测或陆侧平移不产生钢轨的扭曲变形,所以将所有测点的相对变位中均减去  $\Delta S_0$ ,从而钢轨扭曲变形可用下式来表示:

$$\begin{aligned} \Delta S_{ij} &= S_{ij} + (S_{i1} - S_{i10}) \cdot \frac{l_i}{l_0} - S_{1j} \\ (i = 1, 2, \dots, j = 1, 2, \dots, 10) \end{aligned} \quad (11)$$

### 3 伸缩缝两侧码头相对变位及钢轨变形测量结果及分析

#### 3.1 伸缩缝两侧码头相对变位及钢轨变形的测量结果

##### (1) 伸缩缝两侧码头的相对变位测量结果

天津港 13 段码头前承台与 14 段码头甲区(无梁板区)间补开了一条伸缩缝,自 1999 年 4 月 15 日 ~ 2000 年 4 月 14 日经过历时一年的测量,每月测量 1 次,共进行了 13 次测量,测量结果如图 6 所示<sup>[2]</sup>。

为了分析伸缩缝两侧码头相对变形的幅值,以 1999 年 4 月 15 日测量值为基准,在 13 次测量中挑选气温最高和最低的 1999 年 9 月及 2000 年 1 月测量值进行分析,它们的测量结果如表 1 所示<sup>[2]</sup>。

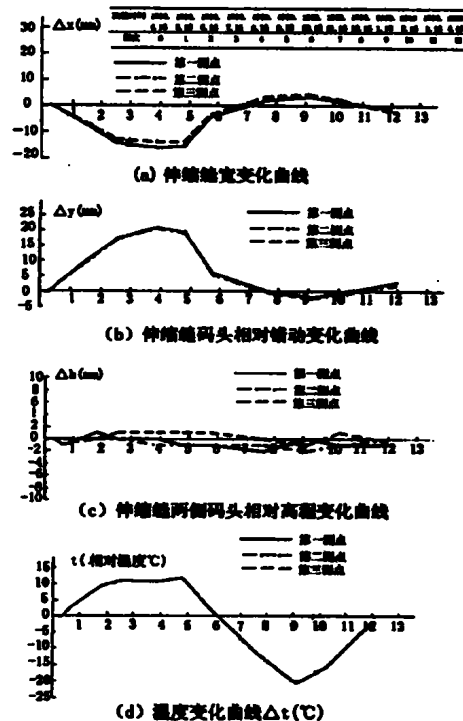


图 6 伸缩缝两侧码头相对变位图

表 1 伸缩缝两侧码头位移测量值

测量内容	1 组测点测量时间			2 组测点测量时间			3 组测点测量时间		
	1999. 4.5	1999. 9.8	2000. 1.19	1999. 4.5	1999. 9.8	2000. 1.19	1999. 4.5	1999. 9.8	2000. 1.19
$a$ (mm)	396.20	396.48	396.18	410.10	410.14	409.90	384.76	384.84	384.28
$b$ (mm)	386.20	363.36	390.00	382.32	360.00	386.76	396.00	375.00	400.58
$c$ (mm)	379.78	377.00	381.70	401.50	399.92	403.44	393.00	391.28	395.90
$x$ (mm)	327.73	312.44	331.05	333.62	318.35	337.51	344.40	331.02	348.80
$y$ (mm)	191.89	210.97	190.01	223.38	242.05	221.03	189.30	208.63	187.29
$x$ (mm)		-15.29	3.32		-15.27	3.89		-13.38	4.40
$y$ (mm)		18.94	-1.87		18.65	-2.24		9.29	-1.77
$h_a$ (cm)	414.50	437.00	429.80	416.30	438.80	431.80	417.40	440.00	432.80
$h_b$ (cm)	415.30	437.70	430.60	416.80	439.20	432.10	417.70	440.20	433.20
$h_c$ (cm)	415.50	437.90	430.80	417.10	439.50	432.40	417.80	440.30	433.30
$\Delta h_c$ (cm)	0.0	-0.1	0.0	0.0	1.45	-1.55	-1.65	-1.85	-1.55
$t$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	15.2	27.1	-5.5	15.2	27.1	-5.5	15.2	27.1	-5.5

##### (2) 伸缩缝附近钢轨变形的测量结果

由图 2 可知,通过天津港 13 段码头前承台与 14 段码头甲区间伸缩缝的钢轨有 3 对,在对钢轨进行为期一年的变形测量期间,以 1999 年 4 月 15 日的测量值为比较基准,1999 年 9 月 8 日与 2000 年 1 月 19 日分别为最高气温与最低气温的测量值,这三次测量值即可知道钢轨变形的幅值,所以将 1999 年 9 月与 2000 年 1



月的测量值与 1999 年 4 月钢轨基准状态时的相对变位值列于表 2<sup>(2)</sup>。

表 2 伸缩缝附近钢轨与基准状态间变位 (mm)

变形类型	钢轨位置	测量时间	测点									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
扭曲变形	第一对钢轨	1999 年 9 月	0.76	0.20	0.10	-0.90	7.02	9.12	3.6	-0.32	-0.76	-0.88
	第二对钢轨	2000 年 1 月	-0.66	0.70	-0.32	0.22		1.70	-0.28	-0.76	-0.86	-0.76
	第三对钢轨	1999 年 9 月	-0.34	-0.54	0.20	-1.28	-9.02	6.44	0.80	0.12	-0.26	0.06
		2000 年 1 月							1.00		0.10	0.12
		1999 年 9 月	0.26	-0.56	0.26	-0.24	6.48	-7.10	-1.22	0.64	0.40	-0.12
		2000 年 1 月	0.38	0.00	-0.14	0.38	1.10	2.96	0.14	0.16	-0.10	0.50
平整度变形	第一对钢轨	1999 年 9 月	1	2	2	2	2	4	2	2	1	2
	第二对钢轨	2000 年 1 月	-1	-1	0	-1	0	1	0	0	0	0
	第三对钢轨	1999 年 9 月	0	0	1	2	3	2	3	2	2	1
		1999 年 12 月	-1	1	0	1	2	1	1	1	2	2
		2000 年 1 月	0	1	0	0	1	-1	0	-1	0	0

### 3.2 测量结果的初步分析

根据图 6 显示的规律及表 1、表 2 的有关数据的分析, 补开伸缩缝两侧码头的相对变位及钢轨变形有如下规律:

(1) 由图 6(d) 知, 第 6 测次前的气温均比最初测量的比较基准数据时温度高, 由图 6(a) 知, 由于码头上部结构的膨胀而使伸缩缝变窄, 所以伸缩缝宽度变化值为负值。在第 7 测次以后的气温均比最初测量的比较基准数据时温度低, 因此与比较基准数据比, 码头上部结构收缩而使伸缩缝变宽, 所以伸缩缝宽度变化值为正值。伸缩缝宽度的变化规律与一般物体热胀冷缩的物理现象相吻合。

(2) 根据表 1 实测数据及式(2)、式(3)的计算得, 在为期一年的测量周期中由三组测点的测量结果得知, 伸缩缝宽度变化的幅值分别为 18.61 mm、19.16 mm 及 17.78 mm, 三组伸缩缝宽度变化都很接近, 且均在 20.00 mm 以内。有关规范指出高桩码头伸缩缝的设计宽度为 20 ~ 30 mm<sup>(4)</sup>, 因为实际施工中构件制作尺寸及施工安装尺寸会有一定偏差, 另外, 由表 1 知, 预留伸缩缝与测量(或施工)时的基准温度有关, 如首次在低温时测量(或施工), 则其它任何时刻的温度均比首次测量(或施工)时的温度高, 因此任何时刻测得的伸缩缝宽度均比首次测量(或施工)时的小, 当达到一年中最高温度时可能会发生预留伸缩缝被挤死的现象。因此设计伸缩缝宽度还需要考虑施工的影响, 所以设计伸缩缝宽度需 3.0 cm 偏小。

(3) 码头在长期使用过程中由于变形的不协调会积聚一定内力, 所以在对高桩码头补开伸缩缝时这部分内力会通过伸缩缝慢慢地释放, 从而使伸缩缝两侧码头产生相对错动, 带动伸缩缝附近钢轨的变形, (其实伸缩缝两侧码头在补开伸缩缝刚结束时相对错动最大, 本文的测量数据中没有包括这部分的错动)。根据测量数据, 由式(2) 计算得的  $y$  值中实际上包含了温度变化使  $y$  值的变化量及伸缩缝两侧码头的相对错动两部分的和, 可是以往有关资料中将  $y$  值直接作为伸缩缝两侧码头的相对错动值<sup>(2)、(4)</sup>, 这种处理在物理概念上是不正确的, 会使伸缩缝两侧码头 相对错动的数值偏大。根据式(2)、式(4)及式(5)进行计算, 由实测数据推算得三组测点伸缩缝两侧码头的相对错动的幅值分别为 20.81 mm、20.89 mm 及 21.06 mm, 它们虽处在伸缩缝两侧码头的不同位置, 但测量数据计算得的码头错动值基本相等, 测量结果与实际变形相附。由于码头间的相对错动, 会对码头上布设的钢轨在伸缩缝附近产生扭曲变形的不良影响。

(4) 由各测点相对标高的测量值, 根据式(6)、式(7)及式(8)的计算得表 1 知, 补开伸缩缝后其两侧码头的相对高差变化量一般不大(但也有达到 18.5 mm 的这可能测量数据有误)。由于伸缩缝两侧码头的高差, 不大对码头上布置的钢轨在伸缩缝附近平整度的影响不大。

(5) 测量钢轨扭曲变形的钢轨长度为 420 cm, 根据表 2 三组测点的水平变位的幅值分别为 10.2 mm、



10.3 mm、13.58 mm, 由于实际进行钢轨扭曲变形测量时, 是在钢轨测点旁边预埋测点测量预埋测点与钢轨测点轨缘之间的距离变化<sup>[2]</sup>, 孰不知钢轨布设在码头面上, 预埋测点与钢轨随伸缩缝两侧码头发生海侧和陆侧的位移。中不包含它们间的手动, 因此测得的钢轨扭曲变形值偏小。根据伸缩缝两侧码头变形计算得相对错动的幅值为 20 mm 左右。也可知钢轨扭曲变形的测量数据偏小, 所以钢轨水平变位的幅值应取 20 mm。

由表 2 知钢轨产生最大水平变位的位置在测点 5~6 之间, 此位置正是伸缩缝的位置, 从而可知钢轨在伸缩缝处产生水平的相对变位最大, 它与伸缩缝两侧码头产生相互错动的结论相符合, 从而得出结论, 钢轨的扭曲变形是补开伸缩缝后使两侧码头产生相对错动所引起的。

为了减小伸缩缝处钢轨的水平变位的突变, 建议伸缩缝附近的钢轨铺设时要进行特殊处理, 即伸缩缝附近钢轨可以容许其产生小量的水平位移, 而只限制它不产生垂直位移, 这样可将伸缩缝两侧码头相对错动产生的钢轨变形分散到伸缩缝附近的钢轨上, 使伸缩缝处的钢轨不产生集中的剪切变形而影响火车通行。

(6) 根据表 1 数据知, 伸缩缝两侧码头的最大相对高差为 18.5 mm。根据表 2 知, 在钢轨平整度测定时最大相对高差只有 4 mm, 相差甚远。分析其原因除测量误差外, 主要可能是钢轨有一定刚度, 会使部分钢轨与火车梁的连接松动而使钢轨不随码头下沉而同步下沉, 所以轨顶的高差小于码头的高差。

综上所述, 火车轨的变形与码头伸缩缝布置的位置及伸缩缝处两侧码头的相对变形有密切的关系, 因此要使火车轨的变形控制在允许范围内, 必须对伸缩缝布置的位置及伸缩缝处码头结构进行特殊处理。

## 4 结论

通过高桩码头火车轨变形与码头结构伸缩缝关系的观测和分析, 得出以下几点主要结论:

(1) 两相邻的高桩码头岸线不在一条直线上时, 连接段伸缩缝布置的方向应尽可能与钢轨的布置方向相一致, 千万不能将钢轨与伸缩缝相交, 否则温度应力会使钢轨发生扭曲变形而影响火车的行驶。

(2) 在高桩码头上补开伸缩缝, 考虑到伸缩两侧码头会产生相对错动使伸缩缝附近的钢轨发生扭曲变形而影响火车行驶, 所以在补开伸缩缝附近的钢轨与火车梁的连接应进行特殊处理, 使钢轨在水平方向允许自由移动, 使钢轨的扭曲变形不集中在伸缩缝处, 而是分散到伸缩缝附近的一定范围内, 使钢轨扭曲变形沿钢轨长度方向比较平缓, 保证火车的平稳行驶。

(3) 由于伸缩缝两侧码头有高差, 当高差较大而影响火车平稳行驶时, 要对伸缩缝附近钢轨底的高程进行局部调整, 使伸缩缝附近钢轨的平整度达到铁路有关的规范标准。

(4) 补开伸缩缝处钢轨不宜切断, 而在码头伸缩缝附近的钢轨间连接部位留有足够的空隙, 作为钢轨的伸缩缝。即在补开伸缩缝时, 要求码头的伸缩及钢轨的伸缩缝的位置互相错开, 不要将它们都集中码头的伸缩缝处。如果伸缩缝处将钢轨切断, 则伸缩缝两侧码头的相对错动对钢轨产生扭曲变形的影响集中在伸缩缝处的钢轨上, 而无法将扭曲变形分散到伸缩缝附近的钢轨上, 使伸缩缝处钢轨扭曲变形过大而无法通车。

(5) 补开伸缩缝的宽度不但要考虑到混凝土的热胀冷缩要求, 而且还要考虑补开伸缩缝施工时的气温对伸缩缝宽度的影响。所以补开伸缩缝的宽度要大于 20 mm。

## 参考文献

- [1] 竺存宏主编. 天津港水工设施图集[Z]. 天津港务局, 交通部天津水运工程科学研究所, 1997 年.
- [2] 郑锋勇, 张强. 天津港 13~15 段码头前承台新开伸缩缝性能的观测研究分析[R]. 天津水运工程勘察设计院, 2000 年.
- [3] TJ291-98. 高桩码头设计与施工规范[S].
- [4] 刘卫民. 天津港三突堤码头前承台钢轨变形的观测及治理[R]. 交通部天津水运工程科学研究所, 1986 年.