

# 磁悬浮轨道梁精密调位施工工法

(TGJGF-03·04-03)

中铁十六局集团有限公司

## 一、前言

上海磁悬浮列车示范线系引进德国常导型磁悬浮技术,它对轨道梁的安装精度要求特别高。轨道梁在横向、纵向、竖向相对设计空间位置的安装误差不得超过1mm;相邻轨道梁在纵向、横向的安装误差不得超过1mm,竖向安装误差不得超过0.6mm。安装时必须在轨道梁吊装后根据大地坐标与线路上各点坐标的设计关系,计算出轨道梁空间位置控制点与其线路局部坐标之间的理论关系,通过对轨道梁大地坐标的理论与实测值比较,确定轨道梁在线路上X、Y、Z三个坐标上的合理调整值,采用高精度三向组合调位千斤顶对轨道梁架设位置进行精密调整达到轨道梁在磁悬浮线路上的精确位置。

## 二、工法特点

1. 计算测量数据可靠,可满足轨道梁空间位置精密定位的精度要求。根据磁悬浮轨道梁的设计情况,利用特制的定位销孔引出件将用于精密定位的点引出到轨道梁外可直接测量到的位置。通过计算轨道梁空间位置控制点与其线路局部坐标的理论关系,对轨道梁空间位置控制点线路局部坐标的实测值与理论值进行比较分析,来确定轨道梁空间位置的合理调整量。利用精度等级为0.5ppm以上的全站仪(现场采用的是TC2003型)、高精度电子水平仪(现场采用的是DiNi12型)、精密水平尺、游标卡尺、机械百分表来测量轨道梁的空间位置。采用三向组合液压千斤顶进行精密的调位完全保证三向坐标调整精度。

2. 可操作性强,可以有效地保证施工进度与施工安全。

## 三、适用范围

本工法适用于磁悬浮轨道梁精密调位施工。通过稍加改进,也可供其它对安装有高精度要求的大吨位构件施工项目参照。

## 四、基本原理

通过精确量测手段确定轨道梁实际空间位置、应用空间几何理论将轨道梁上精确定位的点转换到实际测量点上,根据其与设计理论值的差量合理确定轨道梁的三向精密调整量;利用三向千斤顶调整轨道梁在X、Y、Z方向位置,使轨道梁空间位置满足设计要求。

## 五、施工工艺

### (一)工艺流程

轨道梁精调的总体原则是保证相邻梁端的相互关系。遵循这一原则,把轨道梁划分为基准梁和中间梁两种类型。其中:用高精度的全站仪与电子水准尺精确测量轨道梁实际绝对空间位置并与轨道梁空间位置设计理论值进行比较精密定位的称为基准梁,它由轨道梁绝对位置误差进行控制;而在两根基准梁中间的称为相邻梁,它由轨道梁相对位置误差精度进行控制。在现场进行轨道梁精密定位施工中,采用“间隔一根”的总顺序进行。在基准梁中,又有平坡直线梁与缓和曲线梁。平坡直线梁的数据转换过程相对简单,只是空间坐标的多次变换;而缓和曲线梁的数据转换过程要复杂得多,二者所采用的定位销孔引出件形式也不尽相同。

基准梁精密定位施工工艺流程见图1。

### (二)施工要点

### 1. 测量控制点

磁悬浮线路下部结构施工时,沿线已经布设了若干坐标控制点。下部结构完成后,对这些坐标控制点进行复测,复测精度应达到固定误差 $\pm 1\text{mm}$ 、比例误差 $1\text{ppm}$ 。架设轨道梁前测划墩顶支座十字线,轨道梁架设时按支座十字线进行初定位架设。

精密调位时,由于高架线路轨道梁顶面远高于地面坐标控制点,故需将地面坐标控制点引测到轨道梁上。为确保引测精度,同时考虑到在梁面上架设测量仪器时避免刮风等天气因素的影响,在上海磁悬浮工程中利用轨道梁吊装孔设置了定位控制桩(见图2),控制桩约每150m设置1个,统一设置在奇数或偶数序号的梁上。定位控制桩顶面可直接安装全站仪或棱镜头,在缓和曲线梁上可通过架腿螺栓调平桩顶。磁悬浮控制网点由上海市测绘院施测,上海岩土工程勘察设计研究院复核后投入使用。全线共有三个基岩点,在沿线稳定建筑物上,每间隔2~3km加密控制点,这些控制点与基岩点形成磁悬浮的首级控制网。平面采用一等三角网、高程采用一等水准要求施测并平差计算。二级控制点每隔400m加密,按同等要求加施测平差。引测坐标控制点的精度也需达到与复测同样精度。强制归心点与地面上控制点组成三角网进行观测并平差。高程采用TC2003全站仪以三角

高程的方法引测至梁面上,梁上点间构成水准路线,要求其闭合差 $\leq \pm 3\sqrt{L}$ ( $L(\text{km})$ 指线路长度),其它限差要求按二等水准测量要求执行。

### 2. 精密定位控制点

轨道梁精密调位的目的是控制定子铁芯的空间位置,其精确的控制点位,是轨道梁连接件定位销孔的外侧中心点,这个点位通过定位销孔引出工件(见图3)可直接观测,通过定位销孔外侧中心点的设计坐标与定位销孔引出件的空间几何关系计算出引出件观测点的理论坐标。

上面是针对轨道梁端部一个定位销孔讲述的。针对具体的一根轨道梁讲,其端部下面的永久支座组合形式中有一个固定支座、一个单向活动支座和两个双向活动支座。在精调施工中,需要具体控制的点及千斤顶平面布置见图4。

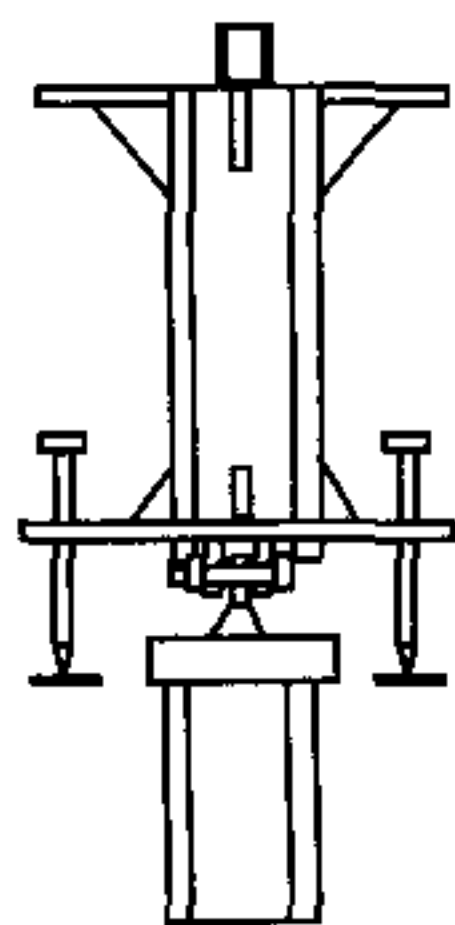


图2 强制定位控制桩

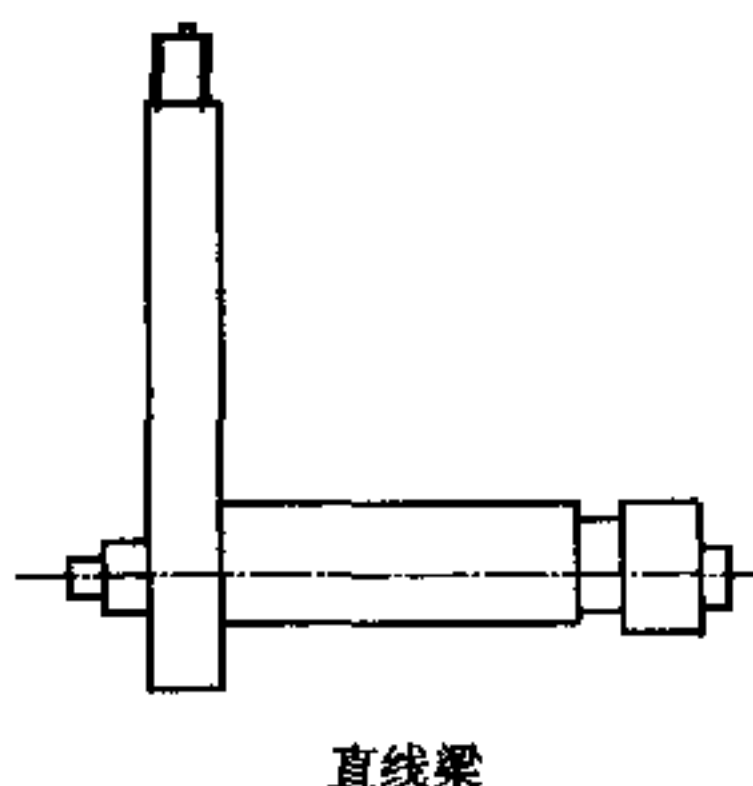


图3 定位销孔引出件



1. 固定支座,以设计理论位置为准在X、Y、Z三个方向控制;2. 单向活动支座,控制Y、Z方向;3、4 双向活动支座,控制Z方向;■为三向千斤顶。

图4 轨道梁精调需控制的点及千斤顶平面布置

### 3. 根据温度、简支变连续工序等的综合影响确定调整量

在上海进行轨道梁精密定位施工的整个过程中要经历春天的长时间阴雨和夏天的高温,其对轨道梁

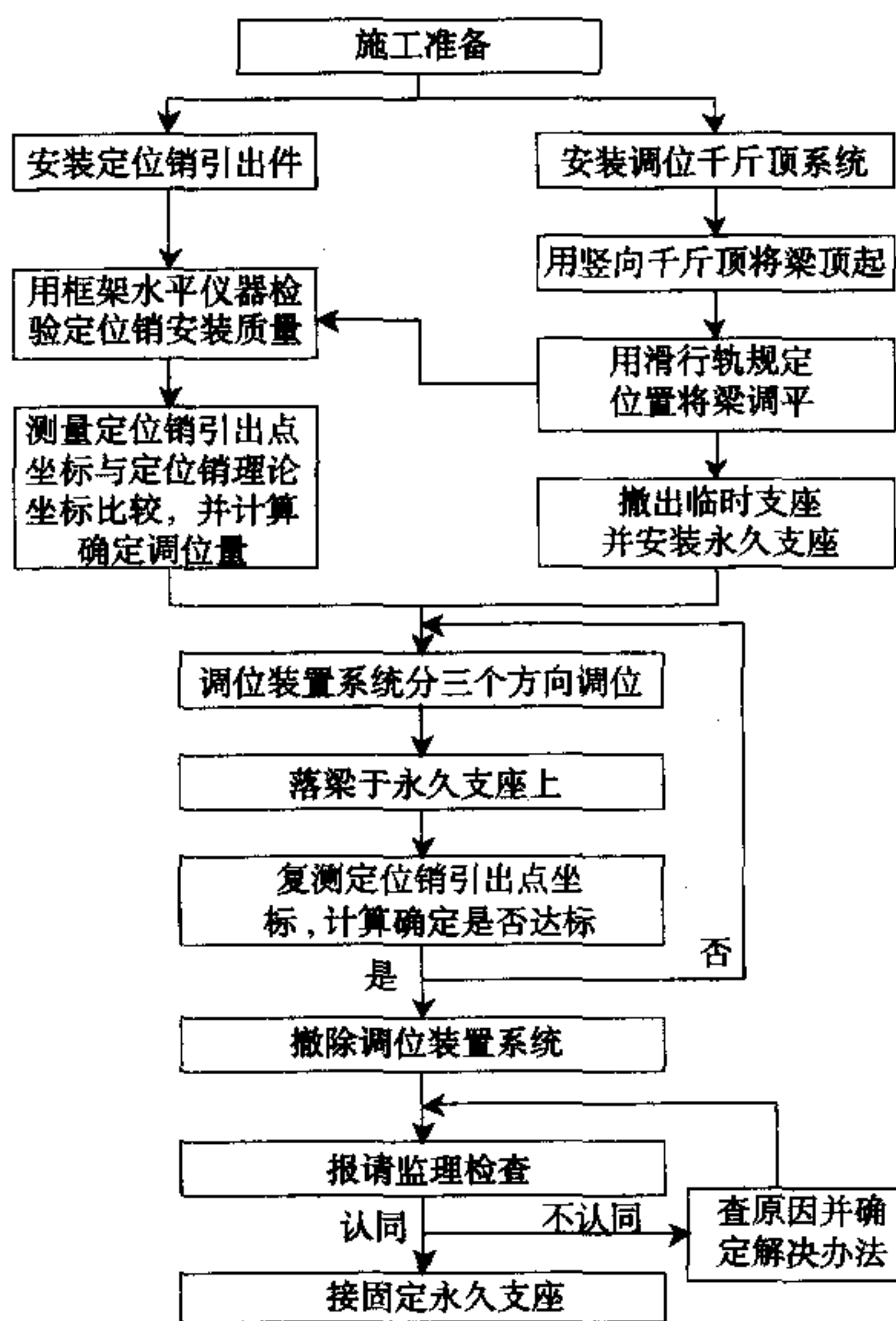


图1 直线梁精密定位工艺流程



空间位置必将产生影响。在轨道梁精密定位施工完成后要进行简支变连续工序,焊接施工对轨道梁空间位置的影响也很大。要综合考虑这些方面因素的影响,指导轨道梁的精密调位。

#### 4. 调试设备的选型及现场统一指挥调试设备进行精密定位

调试设备全部采用液压千斤顶,每跨梁一组,每组4部,共由一台油泵和控制台进行油量和油缸行程控制。千斤顶每级加载调位量精度为0.2mm。

千斤顶主要依据顶升吨位 $Q$ 、位移量和总体高度选型。现场采用的竖向千斤顶是CLRG1006型,水平方向千斤顶是RC102型。

三向调位千斤顶有三层钢板底座,每层钢板底座板之间用四氟乙烯板作为滑动面,最上层底板上安装 $z$ 轴向调位千斤顶,以下两层底座板分别在 $x$ 、 $y$ 轴向上安装水平调位千斤顶,水平调位千斤顶固定于各层底座板的侧面,各向千斤顶由控制台操控。

#### 5. 基准梁的精密定位步骤

(1) 安装调位液压系统,手动泵置于梁上;安装测点引出装置。

(2) 永久支座就位。

核对支座型号,支座上、下座板分中,取下防尘圈,拆去背带,安装支座夹具,松开内六角螺母。移支座至预埋钢板旁侧。

启动竖向千斤顶将梁顶起,使梁底脱离临时支座2~5mm,撤去临时支座,检查预埋钢板上十字中心线距离,按支座上的方向标记安放永久支座,使下座板与预埋板中心线重合,上座板偏差较小。

降低支座至较低位置,竖向千斤顶回油,使梁平稳地落在支座上。注意检查支座平面偏差和高度。

(3) 在相邻梁顶面(侧面)固定百分表。

(4) 测量测点的 $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ,移梁至大致位置。

(5) 测量测点的实际高程,计算与设计高程之差值 $\Delta z$ ;通过千斤顶控制测点(轨道梁)的升降。达到设计高程时,升起永久支座,使其顶紧梁底面。千斤顶回油至千斤顶与梁底面脱离,复测测点标高,使 $\Delta z \leq \pm 1\text{mm}$ 。

(6) 测量测点的 $\Delta x$ 、 $\Delta y$ ,通过水平千斤顶实现梁的左右前后移动,通过百分表监控,落于永久支座上,检查支座偏差是否合格;复测测点,若 $\Delta x$ 、 $\Delta y$ 、 $\Delta z \leq \pm 1\text{mm}$ ,即可报监理检查,否则需顶起重重新调整。

#### 6. 相邻梁的精密定位步骤

(1) 安装调位液压系统,手动泵置于梁上。

(2) 永久支座就位。

(3) 根据前后基准梁的位置,量测 $Y$ 方向错位,移梁至 $\pm 1.5\text{mm}$ 左右。量测 $Z$ 方向错位,操作 $Z$ 向的大顶大泵,使 $Z$ 方向错位 $\leq \pm 0.6\text{mm}$ (首先保证定子面错位 $\leq \pm 0.4\text{mm}$ ),根据现场温度,计算定子间隙,按需要在 $X$ 方向移动;量测 $Y$ 方向错位,使其 $\leq \pm 1\text{mm}$ 。反复之,直至合格后报监理检查。

#### 六、主要机具(见表1)

#### 七、劳动组织(见表2)

#### 八、安全及质量控制措施

除严格遵守国家、上海市制定的各种安全技术规范外,还应注意下列事项:

1. 建立完善的施工安全保证体系,加强施工过程中的安全检查,实现作业标准化、规范化。
2. 制定高空作业安全防范措施和注意事项,在施工过程中认真执行。
3. 对参加施工的全体员工进行安全教育,贯彻安全第一的思想,在确保安全的条件下进行施工。
4. 对作业吊架、防护栏杆、安全网,派专职安全员检查监督,每班上班前、下班后及时检查。作业人员要戴安全帽,穿防滑工作鞋。

5. 上班之前对千斤顶的油路、油表、开关及时检查,确保在无故障的条件下使用,千斤顶操作过程中,要对称渐进顶升,防止梁体倾斜。同时在顶升过程中采取临时防倾斜保护措施。

6. 特殊情况下,基准梁可连续布置,连续布置时,一端与相邻调好梁保证相对关系,另一端保证 $\Delta y$ 、 $\Delta z \leq \pm 1\text{mm}$ 。

表 1 主要机具

序号	名 称	型号	精度	数量	备 注
1	全站仪	TC2003	测距 $1\text{mm} \pm 1\text{ppm}$ ; 测角 $0.5''$	1	配套棱镜
2	电子水准仪	DiNi12	$0.3\text{mm/km}$	1	配套条码钢尺
3	数字温度计	JM402	$0.1^\circ\text{C}$	2	测量环境温度
4	游标卡尺	150 ~ 200mm	$0.02\text{mm}$	1	X 向间隙测量
5	塞尺	150mm		2	Y、Z 向错位测量
6	刀口平尺	300mm	$0.3/10000$	2	
7	梅花扳手	32、13		各 2	安装 D、S 型支座夹具拆除支座背带
8	开口扳手	32、22		各 2	安装 D、S 型支座夹具, 安装 DG 型支座夹具
9	内六角扳手	8、14		各 2	松动、紧固支座内六角螺栓, 拆除功能件定位销螺栓
10	铲刀			2	清除预埋钢板上杂物
11	十字螺丝刀	250 × 3		2	拆装支座防尘圈
12	划针	150		2	描画预埋钢板及支座中心线
13	勾心扳手			2	升降支座
14	百分表(带磁性表座)	30		4	监控轨道梁(板)的平面、高程位移
15	角尺	150、300		各 2	测量 D、S 型支座上座板是否摆正, 描画预埋钢板中心线
16	卷尺	3m		2	测量检查支座中心线距离
17	工具包			2	放置、携带配套工具

表 2 劳动组织

序号	人 员	数量	备 注
1	现场负责人	1	
2	测量工程师	2	按 4 ~ 6 组配置
3	测量工	4	按 4 ~ 6 组配置
4	支座检查工程师	2	按 6 组配置
5	调梁小组组长	6	按 6 组配置
6	操作工人	30	按 6 组配置

7. 中间梁相互关系若超出设计范围,需报设计确认。

8. 液压系统的操作应按规范进行,操作人员要服从统一指挥。

9. 滑移座与盖梁间一定要用钢板等垫平、垫实,使 X、Y 方向的移动量不反弹。

### 九、效益分析

通过对轨道梁精密调位工艺的不断研究与反复优化,精密调位进度不断加快,由开始一天调 1 根梁提高到一天调 4 根梁,比标准作业时间节约了 50%,提高了工效,降低了工程成本,比原计划提前 7d 完成精密调位工期目标,实现了磁悬浮建设指挥部修改后的施工计划目标,为企业赢得了荣誉,取得了良好的经济效益。

### 十、应用实例

在对上海磁悬浮工程 839 根轨道梁的精密调位项目的实施过程中,对设备性能、量测工具、量测和调位工艺不断改进,人员配备不断调整。经过优化,工程质量全部达到上海磁悬浮建设指挥部和德国专家规定的精度标准,无任何安全事故和技术质量事故。

执笔:赵旭清 江拔其