

上海大众试车场工程精密平面控制网测设

朱德禹 朱继式 陈惟华
(上海市政工程设计研究院国康测量公司)

摘 要:本文对上海大众试车场精密平面控制网测量进行总结,采用测边网方式满足试车场高速环道等施工提出的 2 mm 高精度平面控制要求。着重讨论了建标、观测措施和精密测距的各项误差改正。

关键词:测边网 精密测距 大众试车场 上海

1 工程概况

上海大众试车场位于上海安亭的桑塔纳基地东北部,占地长约 1.8 km、宽 0.8 km,一期工程包括环绕场地的高速环道(设计时速 200 km/h)和环道内东半部的 EVP、EWP、动态实验区等试验设施。根据设计要求,施工网测量控制点间距约 200 m,平面点位精度为±2 mm 以内。

根据《精密工程测量规范》(GB/T15314-94),该工程等级划分为“三级精密工程水平控制网”(±3 mm,光电测距仪最高等级)。具体测量作业中注意缩小各项限差值,以达到±2 mm 预定成果精度。

本公司承接该项精密测量工作。根据工程进度,1997 年底先期建立 10 点,构成前期网(主网,测量/复测 3 次),作为前期施工的起算点。1999 年初增设 41 点,与有保留价值的一期网 3 点共 44 点构成施工网(加密网,已测量/复测 2 次),直接为高速环道等设施的精密施工服务。

2 控制网布设

2.1 平面控制网精度估算

以前期网为例,采用武测《边角网精度估算程序》的精度估算表明:

从控制网精度估算不难发现,在同等测距精度下,增加测边或加测方向角对提高精度影响不大,并且测角要达到 1"也要增加很大观测工作

量。而提高测边精度可以很明显地降低相对中误差。

2.2 测边网布设

根据精度估算,前期网、施工网分别布设成图 1、图 2 网形的测边网。

前期网(图 1)由一条长边基准边和 25 条边组成的四个大地四边形、2 个中点多边形,有较高的图形强度。

施工网(图 2)利用前期网的 3 个点位并增设 41 点,构成 130 条边的新测边网,重新确立长边基准线。在网形中,各测点基本保证 4 条以上测边,各测边构成三角锁或大地四边形、中点多边形,个别为扇形。测边网有足够的图形强度。

2.3 控制网坐标系统

测边网通过两点 GPS 测量联测上海城市坐标,并根据一条长边(基准边)建立独立坐标系统。

基准边检测:首先结合四个场外单向检测点检测其相对关系,按检测成果进行测边网的初步计算,与上次成果的坐标进行比较,分析、调整因起算数据的误差造成整个网的系统旋转及平移,正式确定起算坐标,保证相对关系正确。

3 建立观测标志

3.1 控制点定位

图上定位(CAD):根据控制网方案,结合试车场设施布置的平、纵设计图,点位选择在各试验设施拟施工范围外的间隙,并考虑避让现有施工便道。

表 1 方案比较

方案	测边、测角精度	部分边相对中误差(‰)									
		测边	测角站数	方向数	4~10	3~9	5~8	1~10	1~4	2~8	2~5
方案一	2+2 ppm	22	0	0	22.1	19.8	20.3	17.8	17.2	14.7	19.9
方案二	2+2 ppm	25	0	0	21.3	21.3	24.0	18.2	18.3	18.8	20.3
方案三	2+2 ppm、1"	25	2	4	24.0	21.3	25.9	20.2	20.1	21.9	24.1
方案四	1+1 ppm	25	0	0	43.8	44.3	48.1	36.2	36.7	35.4	40.9

实地定位:外业进行坐标放样定位,结合现场情况微调。

(由于设计方案变更,前期网中大部分点位位于最终施工图的试验设施范围内,无法继续利用)。

3.2 控制点打桩、建标

地下打桩:该工程根据德方专家及业主要求,打桩的地下深度为10 m,采用0.2 m见方方桩,按静态压桩方式逐段压入地下,接桩处进行处理(测量建议的打桩适合深度见结束语)。

地上建标:方桩高出地面,作为控制点支柱。桩顶高程考虑场内各拟建设施的设计高度,按高于附近设施设计标高0.5 m原则确定,以减小直接施工放样中垂直角引起的仪器竖轴误差。桩顶以下1.2 m堆土。堆土高度大于1.5 m的个别桩改用建钢架方式建立观测平台。各测点在稳定2个月 after 开始观测。

3.3 测点标志

桩顶以下1.1 m的桩身侧面埋入不锈钢水准点标志;桩顶安置不锈钢强制归心面板。强制归心面板的加工注意螺孔与面板绝对垂直,保证仪器安置后仪器底板与归心面板紧密吻合。强制归心装置采用螺孔+双头连接螺丝比采用圆柱孔+单头连接半球/圆柱更加能加强仪器稳定性。

4 仪器检定、检测

根据《精密工程测量规范》,进行各项仪器、设备的测前检测、测后复测,并着重注意了“棱镜配套加常数”检测:

自行建立专用强制归心短基线场(一直线上三只观测墩);在测前、测后各两次,进行总计不少于16测回检测。根据检测结果计算棱镜配套加常数(至0.1 mm),计算中进行高差改正和测距仪置平改正。

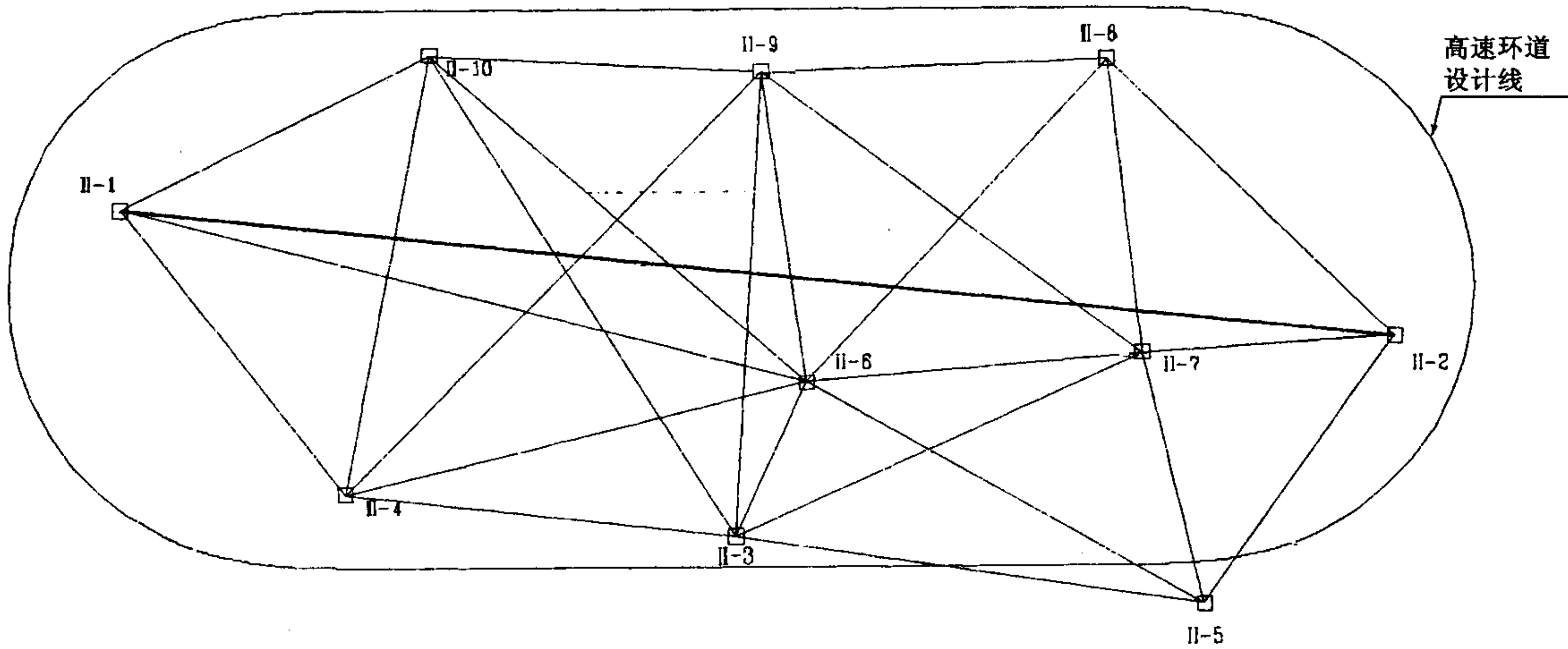


图1 前期网 网形布置

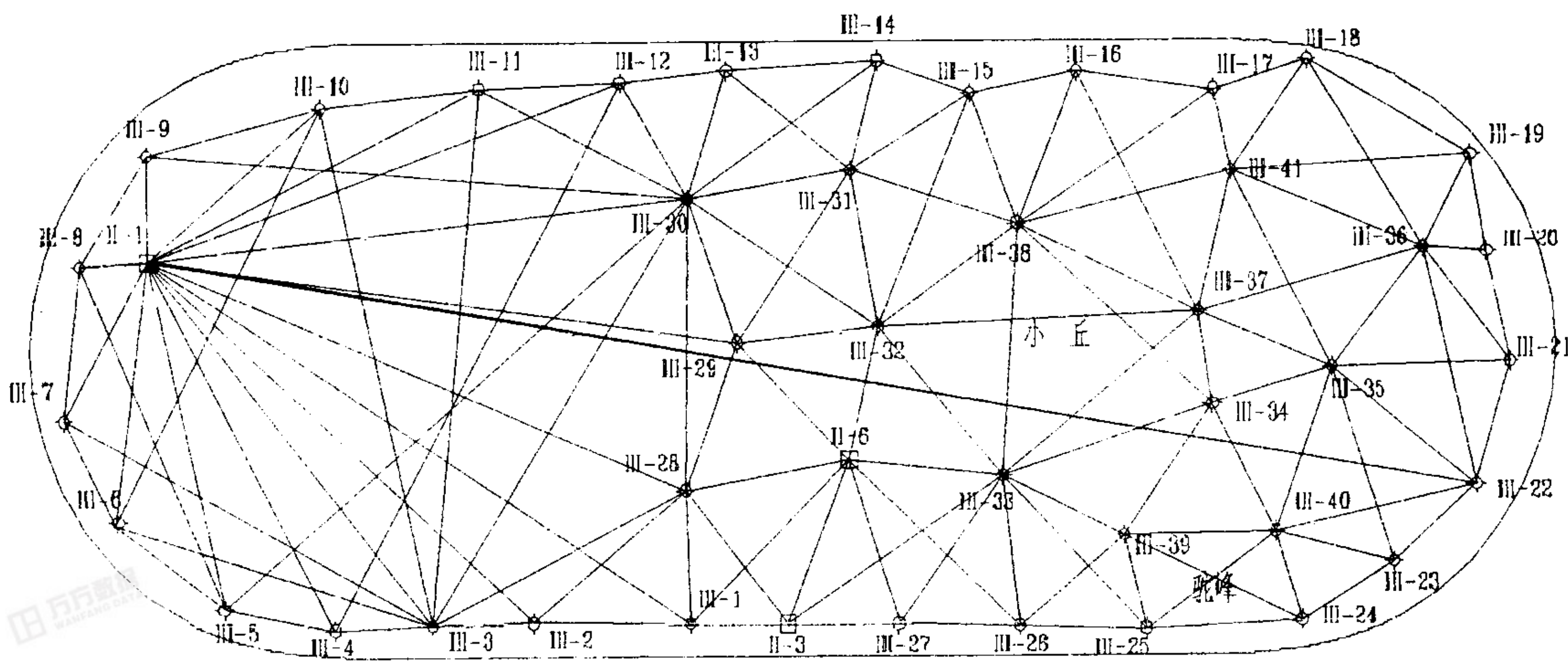


图2 施工网 网形布置

5 规范外业观测操作

(1) 测量时仪器、棱镜均打伞,打伞后 10 min 开始观测。在伞荫、通风条件下观测干温、湿温、大气压,取测站/棱镜站、测前/测后的共四组数据的平均值作为测量成果值,以便进行距离的气象改正。

(2) 边长测量为往返双向观测,单向中每次测量 4 个测回,每测回 4 次读数,读数至 0.1 mm,测回间重新整平仪器、重新照准目标。测中注意自校,测站超限立即进行现场重测;往返测段超限的进行复测。

(3) 基准边为不同时段的两组观测值(每组均为往返观测)。

(4) 按水准测量方式观测平台高程,计算并编制《仪器高、棱镜高成果表》。

(5) 严格按照方案设计的网形进行各条测边测量,保证成果精度和历次成果的可比性。由于场内众多临时堆物、临时设施等影响,多达 1/4 的测边不能直接通视,需进行接边测量。

在测线一侧或中间架设仪器,并正倒镜调整至测线上(三点一直线);同时测量至两个测点的斜距和水平角(精度 2",内业通过余弦定理计算直接边长);测定仪器高。接边测量在测线上不同位置进行两组,视同往返观测。接边测量的精度进行短基线场前期检测和实地检测(在能够直接测边的观测点间进行)。

该工程经检测、统计,接边误差在 0.3 mm 以内。

6 边长计算

精密测距中除仪器对中误差(采用强制归心装置)不计外,需进行以下项目的改正计算:

6.1 气象改正值 Dq 计算

为考虑湿度影响,该工程中,针对 DI2002 仪器特征(红外光,载波波长 0.85 μm,名义折射率时气压=1013.25 mb、干温 12 ℃、湿度 60%即:湿温 7.7 ℃),根据 Barrel 及 Sears 公式推导出气象改正计算公式为:

$$Dq = \Delta D1 \times S0 \tag{6-1}$$
$$\text{系数 } \Delta D1 = 281.804 - \frac{0.290646 \times P}{1 + a \times t} + \frac{0.055 \times P}{1 + a \times t} \times E \tag{6-1-1}$$

其中,E 为湿度系数。

$$E = 4.58 \times 10^k - 0.0004965 \times (t - t') \times (1 + 0.001146 \times t') \times P \tag{6-1-2}$$

$$\text{幂 } k = 7.5 \times t' \div (237.3 + t') \tag{6-1-3}$$

式中:ΔD1 单位:ppm,P、t、t'分别为大气压、干温、湿温(单位:mb、℃)。经验算,本公式与仪器使用说明书一致(说明书公式未考虑湿度变化改正)。

6.2 周期误差 Dz 改正

$$Dz = A \times \sin(\phi_0 + S0/\lambda \times 180) \tag{6-2}$$

式中:根据《检定报告》确定周期误差振幅 A、初相角 φ₀,注意测距仪精测尺长 λ 一般为 20 m,DI2002 为 3 m。

6.3 置平改正 Dp

置平改正由棱镜/测距仪中心与棱镜框/经纬仪旋转中心不一致造成。

该工程,由于棱镜中心与 GPH-11 棱镜框旋转中心一致,不需进行棱镜置平改正。DI2002 测距仪中心在 T2 经纬仪旋转中心上方 45 mm,当测线存在竖直角 V(上仰为+,下倾为-)时,需进行测距仪的置平改正:

$$Dp = -0.045 \times \sin V \tag{6-3}$$

6.4 加常数改正 Da

加常数由仪器加常数和镜配套加常数组成。在经 4.3 节检测后,得出的各棱镜配套加常数中可全部包括仪器和棱镜加常数。

6.5 乘常数改正 Db

根据《检定报告》,确定仪器乘常数 B。

$$Db = S0 \times B \times 10^{-6} \tag{6-4}$$

6.6 平距 S1 计算

根据以上 5 项改正后的斜距为斜距真值,为减小大气折光对竖直角观测的影响,根据高差进行水平距离计算:

$$S1 = \sqrt{(S0 + Dq + Dz + Dp + Da + Db)^2 - (H_{\text{棱镜}} - H_{\text{仪器}})^2} \tag{6-5}$$

6.7 平距的高程面改化 Dh

平面控制网的计算是应在同一高程面上进行,根据公式计算的平距是在测站、棱镜平均高程面上,有必要改化至同一高程面 H0 上(高程、高差不大时,采用近似公式):

$$Dh = S1 \times [H0 - (H_{\text{棱镜}} + H_{\text{仪器}})/2] \div 6400,000 \tag{6-6}$$

6.8 全部改化后平面距离(边长计算值)

$$S=S_1+D_h \quad (6-7)$$

7 测边精度统计、计算(以施工网复测为例)

(1) 根据往返测量的边长计算值求取平差取用值(平均值 S 、往返差 V)。

(2) 平均测距中误差 m ：

A. 平均测距中误差理论值 m ：(本网测边平均边长 $S=310$ m)：

a. 根据《检验报告》测距标准差检验值($a=0.13, b=0.84$)计算：

$$\text{方式 1: } m = \sqrt{a^2 + b \cdot S} = \sqrt{0.13^2 + (0.84 \times 0.31)^2} = \pm 0.291 \text{ mm} \quad (7-1)$$

$$\text{方式 2: } m = a + b \cdot S = 0.13 + 0.84 \times 0.31 = \pm 0.390 \text{ mm} \quad (7-2)$$

b. 根据测距仪标称精度($a=1.0, b=1.0$ ppm)计算：

$$\text{方式 3: } m = \sqrt{a^2 + (b \cdot S)^2} = \sqrt{1.0^2 + (1.0 \times 0.31)^2} = \pm 1.047 \text{ mm} \quad (7-3)$$

B. 根据本次 130 条边实测边长的往返距离差 V_i 统计平均测距中误差 m ：

$$m = \pm \sqrt{[V \cdot V]/2n} \quad (7-4)$$

对直接测量($n=102$ 条边)： $m = \pm 0.29$ mm

对接边测量($n=28$ 条边 $\times 2$)： $m = \pm 0.27$ mm

两组统计结果与(7-1)公式理论值一致，确定本次平均测距中误差 $m = \pm 0.29$ mm

(3) 各边实际测距中误差 M_i 计算：

$$\text{各边测距先验中误差 } \sigma_i \text{ 计算: } \sigma_i = \sqrt{a^2 + (b \cdot S_i)^2} \quad (7-5)$$

$$\text{各边测距先验权: } P_i = 1/\sigma_i^2 \quad (7-6)$$

$$\text{单位权中误差统计: } \mu = \sqrt{[P_i \cdot V_i \cdot V_i]/2n} \quad (7-7)$$

$$\text{各边实际测距中误差: } M_i = \mu \sigma_i \quad (7-8)$$

接边测量的接边实际测距中误差按公式(7-8)计算。其中， σ_i 为两段边长的先验中误差的误差和， μ 值套用边长直接测量数据即公式(7-7)值。

8 测边网平差计算

该工程施工网测量 130 条测边，按已知点 2 只(201、322)，未知点 42 只，多余观测(条件方程)

数为： $r=130-2 \times 42+3=49$ 。

该工程成果采用武测《控制网平差程序》，按最小二乘法进行全观测数据的联合严密平差。平差成果显示(以施工网复测为例)：

平均点位中误差： $M = \pm 0.6$ mm；

最弱点中误差(点位精度)： $m = \pm 0.9$ mm。

9 结束语

(1) 通过该工程实践，在精密工程测量中，采用 DI2002 精密测距仪器，并严格按照《精密工程测量规范》进行操作和计算，各项成果能达到 ± 1 mm 精度。

该工程通过 GPS(10+1 ppm，四台套)静态定位试验，GPS 网测量的平均点位精度只能达到 ± 3.1 mm。

(2) 由于打桩深度不够，通过该工程历次复测成果表明，试车场内控制点均有沉降和不规则位移(不含施工破坏，6 个月位移量一般在 2~6 mm，沉降量在 3~6 mm、持续下沉)，结合设计人员分析，在上海地区的软土地基，高精度测量控制点的打桩深度宜至持力层，一般在 30~40 m；宜采用截面 0.4×0.4 方桩或搅拌桩。

(3) 在各项测距改正中，除常规大气、乘常数改正外，精密测距中不可忽视以下改正的影响(该工程实践数据)：

湿温改正(一般小于 0.5 ppm，最大达 1.1 ppm)

置平改正(一般小于 0.3 mm，最大达 5.0 mm)

棱镜加常数(虽然是两组 WILD 配套棱镜，加常数分别为 -1.2 mm、-0.4 mm)

高程面改化(一般小于 0.2 mm，最大达 -1.3 mm)

另外，周期误差改正的大小由仪器周期振幅决定，一般很小，当需进行周期改正时应注意确定测距仪精测尺长。

(4) 根据该工程大量测边数据的统计分析(参见 7.2 节)，在精密测距中，进行精度估算时宜采用仪器检定标准差(一般高于仪器标称精度)；仪器标准差的应和宜按照 $m = \pm \sqrt{a^2 + (b \times S_i)^2}$ 公式进行。

(收稿日期：2001-01-02)