

文章编号: 1006 - 2106(2012) 09 - 0007 - 06

高速铁路精密测量基准的确定^{*}

徐万鹏^{**}

(中铁十五局集团有限公司, 河南 洛阳 471013)

摘要: 研究目的: 既有高速铁路工程测量采用国家勘测基准, 缺点是投影变形大, 为确保测量精度, 需要将工程区域划分成很多坐标系, 这对线路连接和成果使用都很不利。因此, 从高速铁路测量的特点和精度要求入手, 研究适用于高速铁路精密工程测量的独立测量基准是非常必要的。

研究结论: 该方法以 WGS84 椭球为基准椭球, 首先改变基准椭球的长半轴和偏心率, 利用垂线偏差分量求得椭球中心的三个平移量, 以及三个坐标轴的旋转角, 并由此构造与施工区域平均高程面最佳拟合的区域椭球面, 然后通过适当的地图投影方式来建立独立的精密测量基准。该基准特别适用于高速铁路的精密测量, 同时也为 CPⅢ 的三维平差提供了理论依据。

关键词: 高速铁路; 精密工程测量; 测量基准; 区域椭球; 垂线偏差; 地图投影

中图分类号: P226 + . 2 **文献标识码:** A

Determination of Precision Measurement Datum for High - speed Railway

XU Wan - peng

(China Railway 15th Bureau Group Co. Ltd , Luoyang , Henan 471013 , China)

Abstract: Research purposes: If the national survey datum is used for the engineering measurement of high - speed railway , the projection distortion is big , and the project engineering area would be divided into many coordinate systems to ensure the measurement precision. In this way , the track join and the application of the measurement result will be influenced. Therefore , it is necessary to research the independent measurement datum for the precise measurement for the high - speed railway.

Research conclusions: In this paper , a new measurement datum is presented. That is to take the WGS84 as the datum ellipsoid to firstly changes the semi - major axis and eccentricity of the datum ellipsoid and then the three translation parameters of ellipsoid centre and three rotation angles of axis can be obtained by using the deflections of the vertical component to build an optimal fitting surface of local ellipsoid with the average elevations of the construction area; At last , the independent precise measurement datum is established with the appropriate map projection method. This method is not only available for the precise measurement for the high - speed railway , but also it can provide the theory basis for the CPIII 3D adjustment.

Key words: high - speed railway; precision engineering measurement; measurement datum; local ellipsoid; vertical deflection; map projection

我国工程建设领域长期存在测绘基准与施工测量基准混淆不清的问题。比如, 由勘测设计部门依据国家测绘基准建立的, 主要服务于勘测设计工作的勘测

控制网, 在工程建设过程中, 被当作高精度的首级控制网来使用。显然, 这种做法很不合理。对于常规工程, 测量精度要求不高, 由此带来的问题不明显。而在精

* 收稿日期: 2012 - 03 - 14

** 作者简介: 徐万鹏, 1967 年出生, 男, 教授级高级工程师。

密工程测量领域,这样做不仅不能提高被约束控制网的精度,反而使被约束网的最佳精度相对网形遭到破坏,失去精密控制网的作用。对于高速铁路,轨道精度要达到毫米至亚毫米级,较大的投影变形或网形扭曲,都会影响无砟轨道的精确铺设。

1 既有高速铁路工程测量基准的不足

1.1 勘测基准与精密工程测量基准混用

众所周知,国家测绘基准是全国通用的大地坐标基准框架,是在大尺度上对整个国家或地区实施整体控制,相对于国家建设整体布局而言,是足够精确的。正因如此,勘测基准应采用国家统一的基础测绘基准,使拟建工程与既有地理和人文环境不发生矛盾和冲突。而施工测量控制网服务于具体工程,应根据工程项目的特点和精度要求,建立满足工程建设自身需求的、独立的测量基准。可见,二者的服务对象、目的和作用都不相同。

在我国工程建设领域,勘测网通常被当作高精度的首级网。铁路系统更是如此。例如,对于高速铁路的 CP I、CP II 和 CP III,由无约束平差所确定的网形通常是相对精度很高的最佳网形,一旦引入依附于国家测绘基准的勘测网点,并作强制约束后,其最佳相对精度网形就会发生平移、旋转、拉伸乃至扭曲。通过勘测基准约束处理而得到的控制网,其精度充其量只能达到勘测精度,无法满足精密工程测量的需要。

1.2 CP I、CP II、CP III 三网精度匹配不合理

我国高速铁路控制网是按照逐级布设,分级控制的 CP I、CP II、CP III 三级控制网,即所谓的三网合一的布置形式。现行《高速铁路工程测量规范》对 CP I、CP II、CP III 的精度要求如表 1 所示。其中,CP III 的精度是根据无砟轨道的铺设要求确定的,它是确定高速铁路各级控制网精度的基础。由表 1 可知,CP I、CP II、CP III 的精度并不匹配。

表 1 高速铁路各级控制网的精度要求

控制网	测量方法	相邻点间 相对精度/mm	点间距/m
CP I	GPS	10	点对间距 < 4 000 点对中的点间距 > 800
CP II	GPS	8	600 ~ 800
	导线	8	400 ~ 800
CP III	自由测站 边角交会	1	50 ~ 70

如果在两个高级控制点之间加密 n 个次级控制点,假定次级控制网相邻点的相对精度要求为 m_c ,则相距最远的两个次级控制点的相对精度 m_{c-c} 可近似表示为:

$$m_{c-c} = m_c \sqrt{n} \quad (1)$$

因此,相邻的两个高级控制点之间的相对精度 m_g 应优于 m_{c-c} 。

高速铁路控制网中,通常在 2 个 CP I 点之间加密 5 ~ 7 个 CP II 点,在 2 个 CP II 点之间加密 10 ~ 13 个 CP III 点对。由式(1)可知,相邻 CP II 点的相对精度应优于 3 mm,相邻 CP I 点的相对精度应优于 7 mm。只有这样,才能保证高级控制网对次级控制网实施控制时,次级网的精度不受损失且网形不发生扭曲和畸变。

现行高速铁路测量基准无法实现三网合一。为解决这一问题,铺设无砟轨道时并不按规范来做,而是将 CP II 划分为若干小子网,并采用原网的一点和一向向来施加约束,以期减小因地形起伏和高斯投影而引起的各种变形,从而达到与 CP III 的合理匹配。实质上,这些子网都是独立的专用控制网,所谓的三网合一,并非真正意义上的三网合一。

1.3 精密的 CP III 外业成果不能得到充分发挥

CP III 是三维网,作用是为无砟轨道铺设和线路运营维护提供精密的三维测量控制基准,其布网形式如图 1 所示。

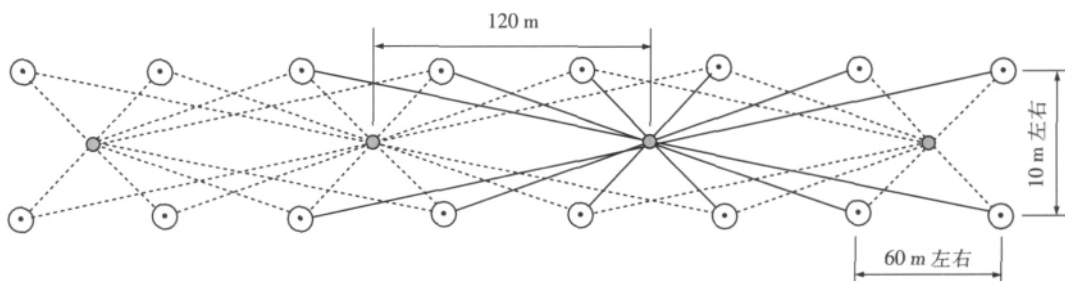


图 1 CP III 控制网示意图

尽管要求 CP III 为三维网,但现行做法是平面和高程分别测量分别计算,并非真正意义上的三维网。现

行 CP III 的高程采用精密几何水准取得,测量线路如图 2 所示。

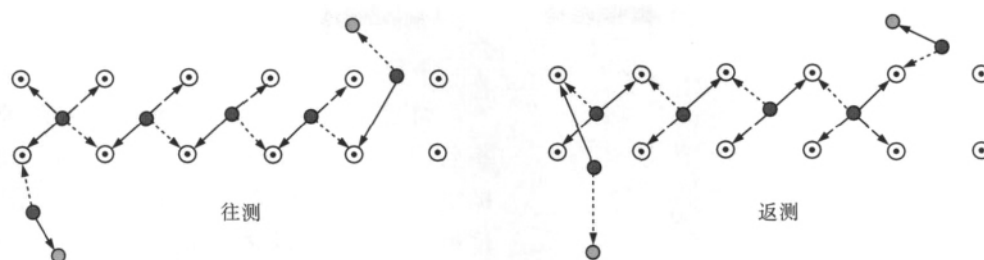


图2 CPⅢ控制网高程测量示意图

如图1所示,CPⅢ是沿线路布设的形状非常规则的控制网,点的纵向间距约为60 m、横向间距不超过结构物宽度,同一点对中2个CPⅢ点的纵向里程差不大于1 m,且大致等高,网形非常规则。

CPⅢ采用最精密的自动照准型全站仪施测,技术要求高,施测难度大,观测条件苛刻。每次置镜,以测站前后各3对共12个点为测量目标,每测站与前一站重叠观测4对点、递进2对点。每测站至少观测三个测回,确保多余观测充足。由此可知,CPⅢ的外业成果非常精密可靠。因勘测基准面与工程所在的水准面不吻合,成果处理时,精密的CPⅢ外业成果仅用于计算平面坐标,同样精密的三角高程成果弃置不用,取而代之的是精密水准测量。这不仅造成了CPⅢ外业成果的浪费,同时也增大了工作量。另外,平面和高程分开测量、分开处理,其成果并非真正意义上的三维成果。

2 高速铁路工程测量精度要求

高速铁路工程可分为基础部分和无砟轨道部分。基础部分是指高速铁路的路基、桥梁、隧道、涵洞等。这部分工程施工精度并不高,一般为厘米级,施工测量方法与传统铁路并无本质区别,按照常规测量精度即可满足要求。

无砟轨道工程是在基础工程完工,且各种变形趋于稳定后,在基础工程之上,通过特殊精调装置,将无砟轨道构件(如CRTSⅡ型轨道板)精确测设、定位、拼装到设计位置,形成高平顺的轨道系统。

在高速铁路施工测量中,属于精密工程测量范畴的测量工作是无砟轨道部分的施工测量,其实质是精密的安装、定位测量,控制基准是CPⅢ。CPⅢ的精度要求是点位绝对精度2 mm,相邻点间的相对精度1 mm。无砟轨道铺设精度为0.3 mm。

由此可知,高速铁路施工测量基准应分为两部分,即勘测基准和精密工程测量基准。勘测基准就是常规CPⅠ和CPⅡ,其作用是为高铁勘测设计和基础部分

施工提供测量控制,确保新建高铁与既有地形、地物不发生矛盾和冲突。无砟轨道施工前,应基于精密测量基准,建立独立的精密测量控制网。

3 高速铁路精密工程测量基准的确定

确定一个测量基准,包括确定椭球和选择投影两个方面。即,首先要建立最符合实际的工程椭球,其次要选择最佳的投影方式。

3.1 建立最符合工程实际的区域椭球

建立一个独立的工程测量基准,首先要确定一个合适的区域性椭球。由于CPⅠ和CPⅡ主要利用GPS测量,因此,确定区域性椭球的便捷途径是通过WGS84椭球的改造来实现。

3.1.1 通过改变椭球长半轴和偏心率建立区域椭球

如图3所示,地面观测结果要投影到一个确定的投影面上。工程建设中,投影面常选取工程的平均高程面。

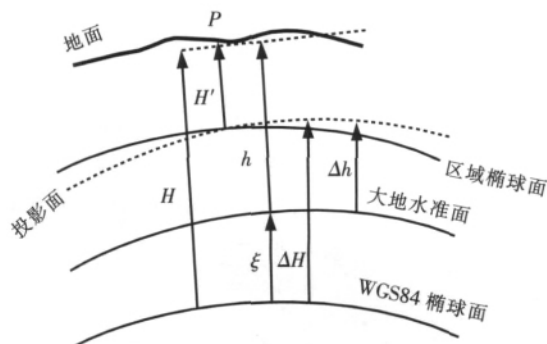


图3 投影面与椭球面的关系

选取测区中心附近的P点为基准位置。假定WGS84椭球长半轴为 a ,第一偏心率为 e ,基准位置大地经、纬度为 L_p 和 B_p ,大地高为 H_p 。如图4所示,通过改变WGS84椭球的长半轴和偏心率,保持椭球中心和椭球定向不变,P点的三维空间直角坐标,以及大地经、纬度不变(即法线不变)。椭球变化后,新的椭球面最大限度地接近投影面。

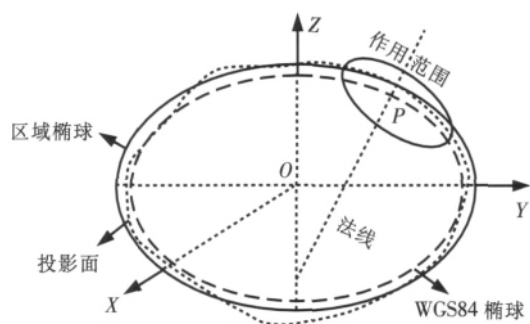


图4 同时改变长半轴和偏心率区域性椭球

假设新椭球要素为 a_1 和 e_1 。基于新椭球 P 点大地高由 H_p 变为 H'_p 。由图3可知:

$$H'_p = H_p + \Delta H_p = h_p + \Delta h_p \quad (2)$$

另有 P 点大地高的变化量 ΔH_p , 即为该点由已知椭球面到投影面的垂向距离, 即

$$\Delta H_p = -\Delta H = -(\xi + \Delta h) \quad (3)$$

式(3)的几何意义是: 基准点 P 的高程变化, 等于工程区域投影面的平均大地高 ΔH (或工程区域平均高程 Δh 与平均大地水准面差距 ξ 之和), 但符号相反。

由三维直角坐标与大地坐标的关系:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+H) \cos B \cos L \\ (N+H) \cos B \sin L \\ [N(1-e^2) + H] \sin B \end{bmatrix} \quad (4)$$

可得

$$[N_1 + (H_p + \Delta H_p)] \cos B_p \cos L_p = (N + H_p) \cos B_p \cos L_p \quad (5)$$

$$[N_1 + (H_p + \Delta H_p)] \cos B_p \sin L_p = (N + H_p) \cos B_p \sin L_p \quad (6)$$

$$[N_1(1-e^2) + (H_p + \Delta H_p)] \sin B_p = [N(1-e^2) + H_p] \sin B_p \quad (7)$$

式中 N 和 N_1 ——分别为 WGS84 椭球和区域性椭球在 P 点处的卯酉圈曲率半径。

即

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B_p}} = \frac{a}{W} \quad (8)$$

由式(5)、式(6)均可得出

$$N_1 = N - \Delta H_p = N + \Delta H \quad (9)$$

将式(9)代入式(7) 则有

$$e_1^2 = \frac{N}{N - \Delta H_p} e^2 = \frac{N}{N + \Delta H} e^2 \quad (10)$$

由式(8)~式(10) 可求得

$$a_1 = (N - \Delta H_p) \sqrt{1 - \frac{Ne^2 \sin^2 B_p}{N - \Delta H_p}}$$

$$= (N + \Delta H) \sqrt{1 - \frac{Ne^2 \sin^2 B_p}{N + \Delta H}} \quad (11)$$

如图4所示,同时改变 WGS84 椭球的长轴和偏心率后,据此建立区域性椭球。在新的椭球基准下,测点的空间直角坐标不变;测点在两种椭球面上的大地经度也保持不变;除基准位置外,其它位置的大地纬度和大地高会发生变动,但大地纬度的变动量不大,大地高的变动量在数值上相差不大,几乎等于在基准位置 P 处的变动量 ΔH 。

3.1.2 通过垂线偏差改正实现区域椭球面与测区水准面的最佳拟合

上面建立的区域性椭球面与测区平均高程面很接近,并且在基准位置,区域椭球的法线与 WGS84 的椭球法线是一致的。但必须指出:上述区域性椭球面与测区平均高程的大地水准面并不平行。为此,需要以基准位置 P 为中心,通过对 P 点的垂线偏差进行改正,使区域性椭球在 P 点处的法线与垂线一致。这样,区域性椭球面就与测区的大地水准面实现了最佳拟合,二者由相交关系变成近似重合关系。

如图5所示,在基准位置 P 建立站心大地坐标系 $P-xyz$ 。设 P 点处的垂线偏差为 u ,垂线偏差的子午分量和卯酉分量分别为 ξ 和 η ,则以 P 为旋转中心,先绕 y 轴旋转 ξ ,再绕 x 轴旋转 $-\eta$,即可将 z 轴由法线方向旋转到垂线方向。

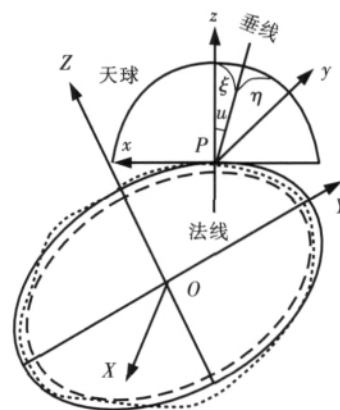


图5 垂线与法线的关系

由于 ξ 和 η 都是微量,经过两次旋转后,得到以垂线为 z 轴的站心天文坐标系 $P-x'y'z'$,对任意点 p_i ,有如下转换关系:

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \\ z'_i \end{bmatrix} = R_u \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\xi \\ 0 & 1 & -\eta \\ \xi & \eta & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} \quad (12)$$

如图6所示,设 $P-\bar{X}\bar{Y}\bar{Z}$ 为 P 点站心赤道坐标系,则其轴系与 WGS84 地心坐标系 $O-XYZ$ 的轴系平

行。

假定坐标系 $P-XYZ$ 旋转到 $P-X'Y'Z'$ 的过程中, 站心赤道坐标系 $P-\bar{X}\bar{Y}\bar{Z}$ 也同步旋转, 并假定它的三轴旋转角为 ε_X 、 ε_Y 和 ε_Z , 旋转后的坐标系为 $P-\bar{X}'\bar{Y}'\bar{Z}'$ 。由于 ε_X 、 ε_Y 和 ε_Z 都是微量, 则有:

$$\begin{bmatrix} \bar{X}'_i \\ \bar{Y}'_i \\ \bar{Z}'_i \end{bmatrix} = R_{\omega} \begin{bmatrix} \bar{X}_i \\ \bar{Y}_i \\ \bar{Z}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_Z & -\varepsilon_Y \\ -\varepsilon_Z & 1 & \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y & -\varepsilon_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{X}_i \\ \bar{Y}_i \\ \bar{Z}_i \end{bmatrix} \quad (13)$$

对任意一点 P_i , 站心大地坐标与站心赤道坐标之间有如下转换关系

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin B_p \cos L_p & -\sin B_p \sin L_p & \cos B_p \\ -\sin L_p & \cos L_p & 0 \\ \cos B_p \cos L_p & \cos B_p \sin L_p & \sin B_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{X}_i \\ \bar{Y}_i \\ \bar{Z}_i \end{bmatrix} \quad (14)$$

由式(12)、式(13)和式(14)可得:

$$\begin{bmatrix} \omega_X \\ \omega_Y \\ \omega_Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos L_p \sin B_p & \sin L_p \\ \sin L_p & \sin B_p \\ -\cos B_p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\eta \\ \xi \end{bmatrix} \quad (15)$$

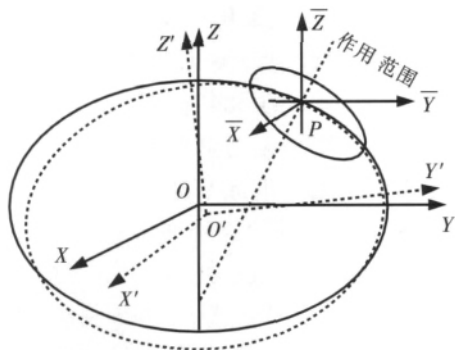


图6 椭球中心平移后的区域性椭球

如图6所示, 假定 P 点站心赤道坐标系在旋转的同时, WGS84 地心空间直角坐标系 $O-XYZ$ 也同步旋转, 且旋转后的坐标系为 $O'-X'Y'Z'$, 并假设 O' 的 WGS84 地心坐标为 $(\delta_X \ \delta_Y \ \delta_Z)^T$ 。对任意一点 P_i 有如下转换关系:

$$\begin{bmatrix} X'_i \\ Y'_i \\ Z'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta_X \\ \delta_Y \\ \delta_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -Z_i & Y_i \\ Z_i & 0 & -X_i \\ -Y_i & X_i & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z \end{bmatrix} \quad (16)$$

式中 $(\delta_X \ \delta_Y \ \delta_Z)^T$ ——相当于 WGS84 椭球中心 O 的平移量。

对于旋转中心 P 转换前后三维坐标应保持不变, 由式(16)可得:

$$\begin{bmatrix} \delta_X \\ \delta_Y \\ \delta_Z \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} 0 & -Z_p & Y_p \\ Z_p & 0 & -X_p \\ -Y_p & X_p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z \end{bmatrix} \quad (17)$$

也即

$$\begin{bmatrix} X'_i \\ Y'_i \\ Z'_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + \left(\begin{bmatrix} 0 & -Z_i & Y_i \\ Z_i & 0 & -X_i \\ -Y_i & X_i & 0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & -Z_p & Y_p \\ Z_p & 0 & -X_p \\ -Y_p & X_p & 0 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z \end{bmatrix} \quad (18)$$

至此, 通过式(10)、式(11)、式(15)和式(17), 可将 WGS84 椭球变换成地方区域椭球。该区域性椭球与 WGS84 椭球的区别是: 椭球元素由 a 和 e 变成 a_1 和 e_1 , 椭球中心由 O 平移到 O' 。由图6可知, 在局部区域内, 区域性椭球面与测区平均高程的大地水准面实现了最佳拟合。

利用式(18)求得区域性椭球基准下的地心空间直角坐标 $(X' \ Y' \ Z')^T$ 后, 再利用式(10)和式(11)求得区域性椭球元素 a_1 和 e_1 , 即可实现区域性椭球基准下的大地坐标 $(B' \ L' \ H')^T$ 和空间直角坐标 $(X' \ Y' \ Z')^T$ 之间的相互转换。

3.1.3 垂线偏差的确定

式(15)中垂线偏差分量可通过以下方法求得: 首先通过式(10)和式(11), 由 WGS84 椭球元素 a 、 e 求得区域椭球元素 a_1 、 e_1 , 并由此求得测点在区域椭球面上的大地高 H_1 及大地水准面差距 ξ_1 。利用多点大地水准面差距, 拟合垂线偏差的子午分量和卯酉分量, 并以此代替 ξ 和 η 。

高速铁路所经地区相对垂线偏差不大, 可以直接在大地水准面差距图上量取东西向大地水准面差距 ξ_{WE} 和南北向大地水准面差距 ξ_{NS} , 以及量取点到基准位置 P 的水平距离 D_{WE} 和 D_{NS} 。 ξ_{WE} 和 ξ_{NS} 与 D_{WE} 和 D_{NS} 的关系如图7所示。

根据图7可近似得到:

$$\xi \approx \frac{\xi_{NS}}{D_{NS}} \rho = 206 \ 265 \frac{\xi_{NS}}{D_{NS}} \quad (19)$$

$$\eta \approx \frac{\xi_{WE}}{D_{WE}} \rho = 206 \ 265 \frac{\xi_{WE}}{D_{WE}} \quad (20)$$

为了提高精度, 可以取多点计算值的平均值。

高速铁路是狭长的带状区域, 沿线每两公里左右就有一个二等水准点, 很容易求得沿线路走向上的大地水准面差距。对于高速铁路精密工程测量控制网, 可以直接利用线路走向上垂线偏差的子午分量 ξ_1 和

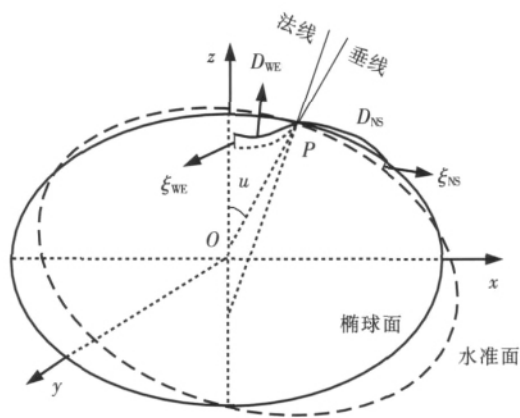


图 7 大地水准面差距示意图

卯西分量 η_1 来代替 ξ 和 η , 并且这样做更符合实际。

3.2 选择最佳投影方式

测量成果在椭球基准下进行三维无约束平差, 所得到的地心三维坐标的相对精度很高, 网形不会发生畸变, 属于最佳精度相对网形。但三维地心坐标无法直接应用于施工测量, 需经过投影变换, 得到平面坐标和高程后, 才能方便使用。

在我国, 传统的投影方法是高斯投影。对于地形起伏不大的南北走向工程, 建立一个坐标系就可以控制较大区域, 甚至是整条铁路。而对于非南北走向工程, 就需要划分许多投影带才能满足精度要求。但是, 多个投影带不利于成果使用和线路顺接。因此, 确定精密测量基准时, 应根据以下原则灵活选择投影方式。

(1) 对于南北走向的线状工程, 宜选择横轴圆柱或椭圆柱投影。

(2) 对于非南北走向的工程, 宜选择斜轴圆柱或椭圆柱墨卡托投影。投影时, 用工程延伸方向的中心线代替中央子午线。

(3) 对于东西走向的线状工程, 宜选择兰勃特投影, 因为这种投影的东西向变形最小。

需要注意的是: 无论选择何种投影, 都必须注意一个原则, 那就是投影变形引起的误差应不影响精密工程的施工精度。如果做不到这一点, 就需要将测区分割成多个区域分别投影, 建立多个独立坐标系。

4 结论

首先, 区域椭球面已与线路所在的大地水准面最佳拟合, 可以有效消除高程投影变形, 而线路纵向接近投影主轴, 几乎不存在地图投影变形。因此, 利用本文所述方法建立的精密测量基准特别适用于高速铁路精密测量。

其次, 在局部范围内, 区域椭球面与测区平均高程的大地水准面平行, 且非常接近, 因此, 在该区域椭球

面上的大地高差与正高高差非常接近。当全站仪的距离观测值不大时, 可以直接在区域椭球面上对全站仪原始测量数据进行三维平差, 所得到的大地高差, 可以足够精确地代替正高高差。基于全站仪三维观测的 CPⅢ 网的边长只有 30 ~ 150 m, 平差时无需进行投影改正。因此, CPⅢ 网可以在区域椭球基准下直接进行三维平差。

图 8 为某单位担负施工的京沪高速铁路先导段。该段工程全长 51 km, 为确保投影变形小于 10 mm/km, 设计院将其划分成 1、2、3、4 共四段, 建立了四个独立的坐标系。



图 8 线路走向及投影主轴

实际施工时, 该单位采用本文所述方法建立了一个独立坐标系, 就很好地解决了该段工程的精密测量问题。具体做法是: 在 WGS84 基准下对 CPⅠ、CPⅡ 的 GPS 基线成果进行三维无约束平差, 并将平差后的三维地心坐标转换至独立坐标基准下。通过实际检测, 测区各处地图投影变形和高程变形都不超过 1 mm。处理 CPⅢ 网数据时, 直接在独立基准下对全站仪的原始观测成果进行三维约束平差, 平差成果满足要求, 且观测值改正数的大小和分布都很合理。不仅如此, 该单位利用上述测量成果铺设的无砟轨道系统, 其平顺性在京沪高铁先导段是最好的。

参考文献:

- [1] 陈俊勇. 大地测量学论文专集 [M]. 北京: 测绘出版社, 1999.
- [2] 宁津生, 陈俊勇, 李德仁, 等. 测绘学概论 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- Ning Jinsheng, Chen Junyong, Li Deren, etc. Introduction To Surveying and Mapping [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2004.

(下转第 38 页)

候环境,为利用当地岩盐作为路基填料和基础持力层提供了有利条件。本文通过对岩盐特殊性质的研究,得出以下几点结论:

(1) 岩盐中虽含有大量易溶盐,遇水极易发生盐溶现象,强度急速降低,但其力学性质较好,在罗布泊这种降雨量极低、地下水为饱和卤水的环境中依然可用作铁路路基填料和基础持力层;

(2) 利用岩盐作为路基填料时,由于岩盐孔隙度普遍较高,因此应注意控制破碎岩盐时的碎块最大直径;同时须保证采用的碾压工艺能够将岩块碾压密实,且应采取有效的防排水措施;

(3) 判定岩盐能否作为基础持力层的方法与普通岩土一致,但应注意岩盐基底的防水处理。

参考文献:

- [1] 董亚萍,李权,戈桦,等. 不同盐度洪水对盐湖路基溶蚀影响的室内研究[J]. 盐湖研究,1997(3):93-104.
Dong Yaping, Li Quan, Ge Hua, etc. Study on the Dissolution and Corrosion of Railway Basis Salt Lake Zone by Different Saliferouss Water at Room Condition [J]. Journal of Salt Lakes Cience, 1997(3):93-104.
- [2] 李浩,颜辉. 罗布泊罗中地区地层浅表裂隙成因及对罗中工程建设的影响分析[J]. 地质学报,2007(12):1723-1727.
Li Hao, Yan Hui. Origin of Superficial Fissures and Their Influence on Engineering Construction in the Luozhong Area, Lop Nur [J]. Acta Geologica Sinica, 2007(12):1723-1727.
- [3] 袁崇清,彭万林,等. 罗布泊罗中盐田工程地质特征浅述[J]. 西部探矿工程,2007(3):89-90.
Yuan Chongqing, Peng Wanlin, etc. Engineering Geological Characteristics of Salina in the Luozhong Area, Lop Nur [J]. West - China Exploration Engineering, 2007(3):89-90.
- [4] 杨海容,蒋富强,王翔,等. 青藏铁路察尔汗盐湖盐岩和盐溶工程地质特性及路基修筑技术[J]. 铁道工程学报,2005(12):373-378.
Yang Hairong, Jiang Fuqiang, Wang Xiang, etc. Charcateristics of Salt Rock and Salt - dissolution Engineering Geology and Subgrade Construction in Chaerhan Salt Lake along QingHai - Tibet Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2005(12):373-378.
- [5] 安尼瓦. 新疆岩盐路基设计与施工工艺探讨[J]. 中国水运,2007(3):96-97.
Anniwa. Discussion of Rock Salt Highway Subgrade Design and Construction Technology [J]. China Water Ransport, 2007(3):96-97.
- [6] 薛吉安. 岩盐地质条件下铁路路基施工技术探讨[J]. 青海科技,2009(6):97-100.
Xue Jian. Rock Salt under Geological Conditions of Railway Roadbed Construction Technology Discussion [J]. Qinghai Science and Technology, 2009(6):97-100.
- [7] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程地质手册[K]. 北京:中国铁道出版社,2002.
The First Railway Survey and Design Insitute. The Manual of Railroad Engineering Geology [K]. Beijing: China Railway Publishing House, 2002.
- [3] 施一民. 现代大地控制测量(第二版) [M]. 北京:测绘出版社,2008.
Shi Yimin. Contemporary Geodetic Control Survey (Second Edition) [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 2008.
- [4] 张正禄. 工程测量学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005.
Zhang Zhenglu. Engineering Surveying [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2005.
- [5] 徐万鹏. 对高速铁路工程测量的几点看法[J]. 铁道工程学报,1999(4):29-32.
Xu Wanpeng. Some Proposals on Construction Survey of High - speed Railway [J]. Journal of Railway Engineering Society, 1999(4):29-32.

(上接第12页)