

(14)

全站仪

标定系统

几何实体设计

原星

第17卷 第3期
1995年9月

重庆建筑大学学报
Journal of Chongqing Jianzhu University

Vol. 17 No. 3
Sep. 1995

100-107

BD2全站仪标定系统的功能与算法设计原理

冯晓
(东南大学)

王熔
(重庆建筑大学)

李方
(东南大学)

TH76/02

摘要 介绍了一种实用的全站仪标定系统的算法设计理论与方法,在此基础上分析了基于全站仪的3-D标定技术的基本特点,并提出了专用标定器的概念。

关键词 全站仪,工程标定,几何实体

中图分类号 TH761

BD2是运行在全站仪内置或外接计算机上的3D标定软件系统,由原路线测设系统BD1改进而成。由计算机与全站仪组成的智能化的工程标定系统具有较强的通用性,操作简单,作业方法规范,速度快且精度高(在一定范围以内),是多数标定问题的理想工具。随着微电子技术的飞速发展,更加小型化的计算机与角度距离传感器的集成系统必然出现,加之高精度的快速对中整平系统的加入,基于全站仪的标定方法必将有更广阔的应用前景。

BD2系统控制的全站仪所具备的种类繁多的标定功能是旨在使其成为一种通用工具而设计的,其中有此功能的潜在用途尚不十分清楚。我们所希望的是安装在这一系统的全站仪能成为一种标定专用工具,给各种科研、工程勘测和施工带来方便。人们几乎可以随心所欲地、快速、准确地在地产生任何设计几何实体。

1 标定实体的定义参数

BD2系统中的各种操作与算法设计均以几何实体为基本对象。各种工程的几何结构由不同的几何实体组成,而标定工作一般只针对其中一部分有代表性的,对全局起控制作用的几何实体,我们称之为标定实体。如各种轴线(空间的或平面的),各种区域的边界线,以及某些曲面等。

任何复杂的标定实体都可以由本系统定义的10种基本的实体来表示。实际上大多数标定问题仅限于基本实体。几何实体可划分为点实体,方向(角度)实体,曲线实体和曲面实体4种;按实体可能的状态又分为平面实体,立面实体和空间实体三大类。每种实体的性质与形态通过定形参数(A参数)确定,在外部坐标系中的姿态由定向参数(B参数)确定,而在外部坐标系中的位置由定位参数(C参数)决定。表1列出了各种基本实体的定义参数。

* 收稿日期:1995-01-17

冯晓,男,1956年生,博士研究生,东南大学,江苏南京(210096)

表 1 BD2 定义的几何实体

	实体	代号	设计参数表		
			实体定义参数(A)	姿态参数	位置参数
一维实体	高差	VP	h	\cdot	H_0
	倾角	VO	B (或坡度 i)	\cdot	H_0
	竖曲线(m 段)	VC	$B, (V_1, V_2, \dots, V_m)$	\cdot	H_0
平面实体	坐标	HP	(x, y)	A_0	(X_0, Y_0)
	水平方向	HO	A	A_0	(X_0, Y_0)
	平曲线(n 段)	HC	A, H_1, H_2, \dots, H_n	A_0	(X_0, Y_0)
空间实体	三维坐标	HVP	(x, y, z)	(A_0, β_0, x_0)	(X_0, Y_0, H_0)
	空间方向	HVO	(A, B)	A_0	(X_0, Y_0, H_0)
	空间曲线($m \times n$)	HVC	$\begin{cases} B, (V_1, V_2, \dots, V_m) \\ A, (H_1, H_2, \dots, H_n) \end{cases}$	A_0	(X_0, Y_0, H_0)
	单曲面	HVS	$S, (a_0, d_0, H_1, H_2, \dots, H_n)$	(A_0, θ_0, x_0)	(X_0, Y_0, H_0)

几点说明：

(1) 各图中 O 为实体定位参考点，一般为实体坐标架原点， $OH, OX, OXYH, OXYZ$ 均为实体坐标系。计算实体上任意点在该系下的坐标不涉及 B, C 参数。以下小写为实体坐标系值。

(2) B 参数为实体坐标系在工作坐标系中的姿态系数， C 参数为实体坐标系原点在工作坐标系下的位置参数。

(3) 实体参数(A 参数)中的 V_i, H_i, S 等符号为各种曲线单元的设计参数向量表。

H_k 为第 k 段平曲线的定义参数向量。平曲线的一般定义参数可表示为

$$\vec{H}_k = \{P_k(a_0, a_1, \dots, a_n)(s_k, \Delta s_k)\psi_k\}, k = 1, 2, \dots, n$$

P_k 为曲线类型码

(a_0, a_1, \dots, a_n) 为曲线方程(最简方程)参数表， n_k 为第 k 段曲线方程的参数个数。

$(s_k, \Delta s_k)$ 为第 k 段曲线在母曲线上的定位参数及长度参数。

ψ_k 为第 k 段曲线与第 $k+1$ 曲线连接角，即第 $k+1$ 段曲线首端切线转第 k 段曲线末端切线的偏角。两段曲线相切时 $\psi_k = 0$ 。

V_k 为第 k 段竖曲线的曲线参数表，其表格式与 H_k 相同。

空间曲线一般情况由一条具有 n 段可解析的平曲线和一条具有 m 段竖曲线的纵面曲线来表示。其参数应包括 n 段平曲线和 m 段竖曲线的参数。空间曲线简记为 $L(m \times n)$ 。

S 为单曲面定义参数向量， $S = \{Q, b_0, b_1, \dots, b_n\}$ ，表示一个曲面类型为 Q (基本方程代码)，基本方程参数为 $b_0 \dots b_n$ 的解析曲面。

单曲面定义参数的 a_0 和 d_0 分别为单曲面边界曲线在实体坐标系， xoy 平面的投影曲线起点的切线方位以及至该系原点的距离。

H_1, \dots, H_n 分别为空间曲面 S 的边界柱面(xy 系)与 xoy 面的交线设计参数向量，其结构同平曲线的定义。

(4) BD2 系统对设计实体的限制:

1) 上述的参数是各种实体的最简描述。凡要求用本系统进行标定的几何实体应提供要求的参数。事实上上述定义参数也符合设计习惯。

2) 空间组合曲线一般是分别在平面和纵面(沿曲线纵面)上设计,各段平(纵)曲线应分段解析且属于系统包括的曲线(可补充)。

3) 空间单曲面应在曲面方程最简坐标系下进行,边界曲线限制为分段解析柱面与其交线,设计应保证边界曲线在柱面上投影分段解析。空间平面的实体坐标系取法见图 1,1'2'...n' 为柱面与选定 xoy 面交线, ox 为起点切线。

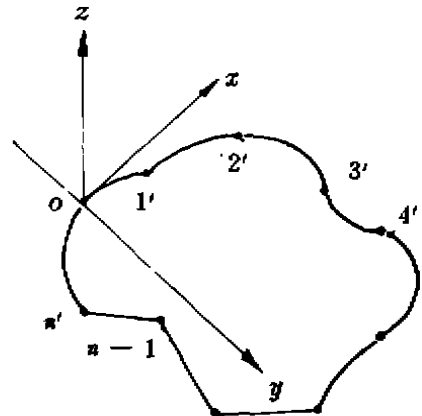


图 1

4) 本系统不能解算不能由直角坐标方程表达的曲线和曲面。

2 BD2 系统的算法设计原理

BD2 系统从输入引数到产生标定数据一般只需几秒钟。系统的工作程序如图 2 所示。

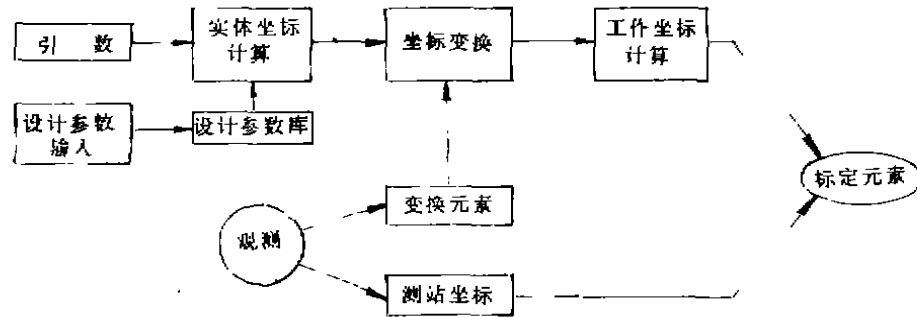


图 2

(1) 引数

引数是在实体上选择标定点的必要信息。在机内存在多个待标定实体时,它由实体号与一参数 s 组成。例如:

点实体 $s = 0$

线实体 $s =$ 从起点计算的总弧长, $0 \leq s \leq L$

曲面实体 a) 标定经纬网时,任给 $x_{min} \leq x \leq x_{max}$,显示 y 上下界 $y_1(x)$ 与 $y_2(x)$,选 $y_1(x) \leq y \leq y_2(x)$ 可定一点。b) 按等高线标定时,任给 $H_{min} \leq H \leq H_{max}$,显示平闭合曲线总长 L ,选 $0 \leq s \leq L$ 可确定一点。

(2) 实体坐标计算

根据实体的实形参数(仅使用 A 参数)可以解算由引数确定的点的实体坐标。

1) 由表 1 可知,VP、VO、HP、HO、HVP 及 HVO 等实体上任意点坐标解算方法显而易见,其中 VP、HP、HVP 三实体不需解算坐标。

2) VC、HC 和 VHC 实体的任意点在实体系下的坐标解算见文献[11]。其基本算法是先

求解该点在所在段母曲线坐标系下的坐标,然后通过坐标变换得到实体系统中的坐标。

3) *HVS* 实体(曲面)上任意点的实体坐标解算直接使用曲面最简方程;边界曲线上任意点的 (x, y) 坐标解算使用 xoy 面投影曲线定义 $(d_0, a_0, H'_1, H'_2, \dots, H'_n)$ 解算, z 坐标由曲面方程求得。

(3) 实体坐标变换为工作坐标。

1) 实体为 *ABC* 型参数时使用该参数变换;

2) 实体为 *AB* 型时,需测定 o 点的外部坐标;

3) 实体为 *AC* 型时,需测定 ox 的外部方位;

4) 实体为 *A* 型(独立实体)时,需测定原点 o 和 ox 轴的外部坐标和方位(曲面测 3 点)。

设 (x, y, z) 为实体系下坐标,实体坐标系取法见表 1(曲面为其最简方程坐标系),则该点在工作坐标系的坐标由实体坐标系设计参数 $(x_0, y_0, H_0, A_0, \theta_0, k_0)$ 确定。其中

X_0, Y_0, H_0 = 实体坐标系原点在工作坐标系下的设计坐标,主平面指 $XOY(xoy)$ 平面。

A_0 = 实体坐标系主平面的定向方位

θ_0 = 实体坐标系主平面相对于水平面倾角

k_0 = 实体坐标系主轴(x) 在实体系主平面坐标系中的方位(图 3)。

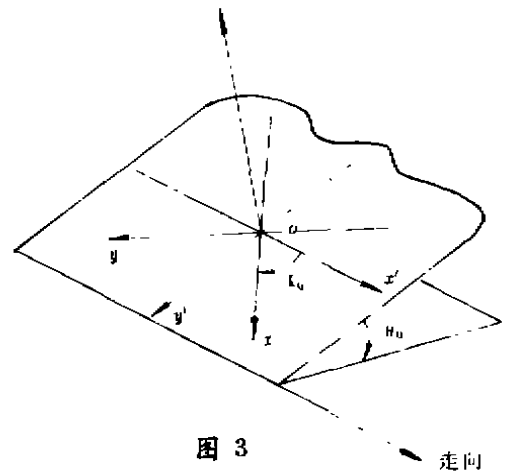


图 3

走向

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos k_0 & \sin k_0 & 0 \\ -\sin k_0 & \cos k_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_0 & \sin \theta_0 \\ 0 & -\sin \theta_0 & \cos \theta_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ H' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos A_0 & \sin A_0 & 0 \\ -\sin A_0 & \cos A_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ H \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ H_0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X' \\ Y' \\ H' \end{pmatrix}$$

(4) 工作坐标系

工作坐标系是计算测站坐标以及计算各种标定元素所使用的主平面为水平面的三维直角坐标系。对于实体设计参数中无 *B, C* 参数的独立实体,使用首测站坐标系为工作坐标系。首测站坐标系原点在首站仪器中心, X 方程为首站平盘零方向, Y 轴为其垂直方向。

对于有坐标系参数约束的设计实体,选用坐标系约束参数所在的坐标系为工作坐标系,实体附近需有该坐标系的两个以上互相通视控制点或者坐标系原点与指定的 X 方向。

(5) 标定控制测量

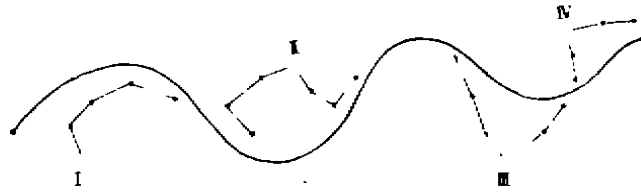


图 4

基本标定控制点 3-D 数据作业前输入全站仪。作业中补充测站点使用自由三维控制,其允许长度(或站数)视问题精度要求而定。对于小尺度独立实体的标定不作基本标定控制,仅用自由三维控制(图 4)。

3 BD2 系统的基本功能

3.1 A 型实体标定问题

待标定实体只具有 A 参数,对实体的空间姿态与位置未加限制。实地随意产生一实体。

(1) 平面实体

1) 平面点:在实地标一点 a 关于实地某固定点 o 和固定方向 oo' 的坐标为(x, y),一般情况 a 点较远,标定时需使用多站。图 5 中“x”号为全站仪设站点。

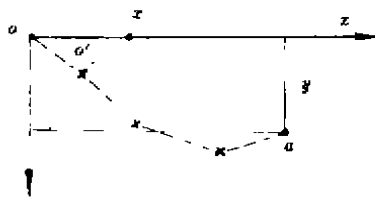


图 5

2) 方向值:用于实地上任一指定点产生一条关于基本一实地方向成 A 角的方向线。一般情况是顶点分离(a, o 不重合),而且标定一组方向点(b1, b2, ..., bk),方向点间可以不通视(图 6)。

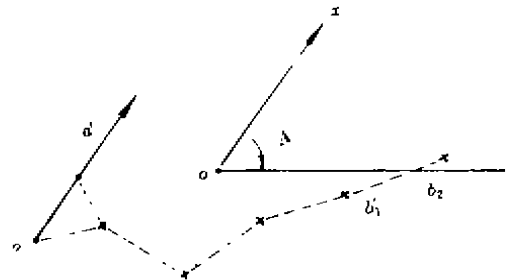


图 6

3) 平面组合曲线:在实地上任一指定点产生一条其切线(起点)关于实地上某一方向(aa')成 A 角的平面曲线。特殊情况有 0, a 重合, oo' 与 aa' 重合, a = 1(一段曲线)以及 P1 取直线,从而产生多种曲线标定问题(图 7)。

(2) 立面实体

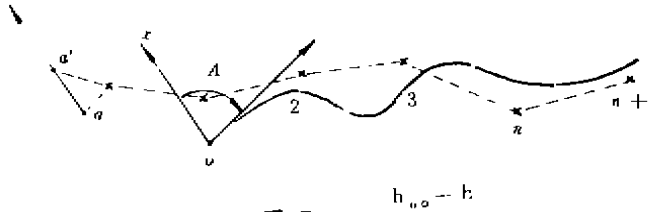


图 7

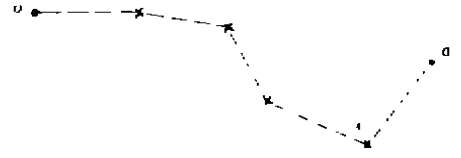


图 8

1) 高差: 相对于实地给定点 o , 在实地上任一指定位置产生一个点与给定点高差为 h 。一般情况是两点间不通视且相距较远, 见图 8。

2) 倾角(或坡度): 在实地上任意给定点产生一条沿给定方向的倾角(或坡度)一定的方向线。一般情况是在选定位置或给定位置设置多个点 (a_1, a_2, \dots, a_n) 同处于一条线上, 见图 9。

3) 立面曲线: 在实地上任意点沿给定方向产生一条起点切线倾角为给定值 B (或坡度值为 i) 的立面曲线。特殊情况可为一段倾斜直线, 一条纵向折线等, 见图 10。

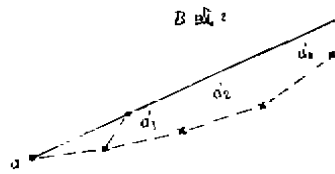


图 9

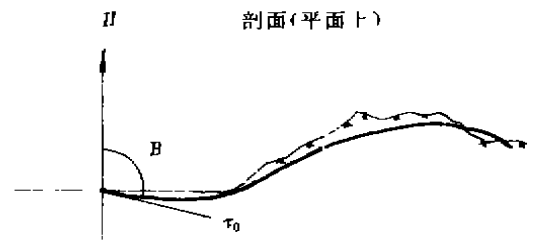


图 10

高程标定或三维标定中的高程标定, 多数情况下不必在实地上(空)或下(地内)用实物标记此点, 一般只报告偏差值。用此偏差值可以在实地对应位置找出空间设计点位。

(3) 空间实体

1) 实间点: 在实地选定的标架中产生一点使其坐标等于给定值。实地上任意点 o 为原点, 另选两点 a, b 可构成标架(图 11), 原点与其中一点构成主轴。

2) 空间方向: 在实地上任意点产生一个与某一选定参考方向方位为 A 、倾角为 B (或坡度为 i) 的空间方向线。

3) 空间曲线: 在实地上任意点 o 为起点产生一条起始点切线方向为 x 轴, 切线倾角为 B 的 $L(m \times n)$ 空间曲线(图 12)。这一功能可广泛用于各种线形工程的测设, 以及空间曲面的边界标定中。XOY 为平面工作坐标系。

4) 空间单曲面: 产生一个包括边界的空间单曲面。以实地任一点为单曲面实体坐标系原点, 另选的两点与原点构成实体坐标系主平面。随着实地上 o, a, b 三点选择的不同, 由 A 参数定义的实体 $\{S, d_0, \alpha_0, H_1, H_2, \dots, H_n\}$ 可任意安装。通过测定 o, a, b 三点即获该实体坐标系关于工作坐标系的变换参数 $(A_0, \theta_0, k_0, X_0, Y_0, H_0)$, 见图 13。

当单曲面为平面时, 即产生一个处在由 o, a, b 三点决定的平面上的一个由给定边界曲线围成的平面区域(可为任意姿态)。产生铅垂面和水平面以及给定倾角的平面属于 AB, ABC 型问题。

3.2 AB 型实体标定问题

AB 型实体被给定了某一坐标系下的空间姿态, 但位置不定。虽然工程中这种问题较少,

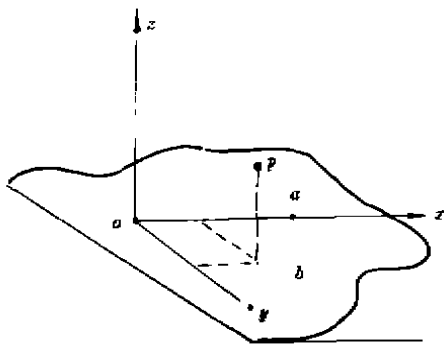


图 11

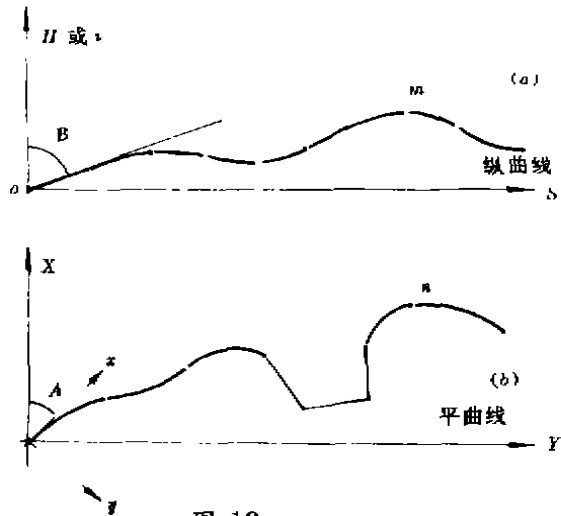


图 12

但仍能找到这种设计。

AB 型实体的实地产生与 A 型实体不同点在于(1)工作坐标系为设计坐标系;(2)实地必须存在定义设计坐标系的控制点或工程原点与 x 轴;(3)仪器位置与方向参数需与该坐标系控制点联测取得或置于同系控制点上;(4)标定时首先采集实体原点在工作坐标系下的坐标。

[例] 在区域中某一需要点产生一条长为 1000 m 方位为 172° 的平面直线。已知区域中有 I, II 两设计坐标系控制点(图 14)。

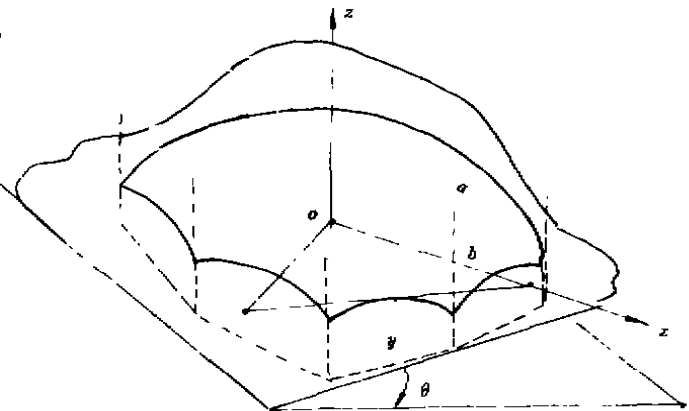


图 13

3.3 AC 型实体标定问题

给定实体的定形参数和定位参数,在给定位置按需要的方向产生该实体。这种问题也较少,其标定条件同 3.2 节。

3.4 ABC 型实体标定问题

精密工程设计多按坐标设计,设计几何实体不仅具有完全的定形参数,同时还给出了特定坐标系下的位置与姿态。这类标定问题所需条件同 3.2 和 3.3 节。

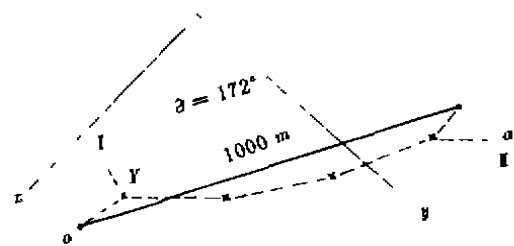


图 14

4 结束语

基于全站仪的 3-D 极坐标标定方法使数十米至数公里的几何实体的中低精度工程标定向智能化方向发展,现场作业日趋简单。随着全站仪的普及与性能的改善,这种方法必然在相当大的领域中取代传统的各种标定方法。在通视不良地区的快速低精度标定中可能在速度上不及某些其它方法,在精密标定问题中其精度能否满足要求也尚需研究。

参 考 文 献

- 1 李青岳,工程测量学,测绘出版社,1984
- 2 顾孝烈,城市导线测量,测绘出版社,1984
- 3 徐时涛,夏英宜,实用测量学,重庆大学出版社,1990
- 4 徐德敏等,PC-E500机原理及其应用,武汉测绘科技大学出版社,1992
- 5 王国强,道、机场 CAD 三维工程设计模型研究,同济大学博士论文,1994
- 6 李方,公路平面线性的一种新设计方法,中国公路学报,1992(2)
- 7 冯晓,高等级公路计算机辅助测设系统,重庆交通学院硕士论文,1991
- 8 冯晓,徐时涛,路线中桩测设的极坐标方法,测绘技术,1991(3)
- 9 冯晓,勘测——新崛起的高科技信息产业,工程勘察,1993(2)
- 10 Nikon 公司, DIM-700 系列现场全站仪使用说明

(编辑:姚国安)

THE FUNCTIONS AND THEORIES OF THE BD-2 DEMARCATING SYSTEM WITH ALL-STATION ELECTRONIC THEODOLITES

Feng Xiao

(Southeast University)

Wang Rong

(Chongqing Jianzhu University)

Li Fang

(Southeast University)

ABSTRACT This paper presents a utility demarcating system with computer-aided all-station theodolite and its methods. The paper also analyses the main features of the 3-D demarcation technics based on computer-aided all-station theodolite. The special concept of the apparatus for demarcating is advanced.

KEYWORDS all-station electronic theodolite, engineering demarcation, geometric objects