

文章编号: 1671-8860(2003)03-0259-06

文献标识码: A

连续运行卫星定位服务系统—— 城市空间数据的基础设施*

刘经南¹ 刘 晖²

(1 武汉大学校长办公室, 武汉市珞珈山, 430072)
(2 武汉大学 GPS 工程研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘要: 城市连续运行卫星定位服务系统是城市空间数据基础设施之一, 它需要向用户提供包括实时和事后在内的精密定位服务, 满足各领域对位置、时间及实时性的要求。着重论述了城市连续运行卫星定位服务系统的构成模式, 并以我国第一个实用 CORS 系统——深圳连续运行卫星定位服务系统为例, 介绍了系统的构成和在 CORS 系统下的作业情况。

关键词: GPS; RTK; CORS; 网络 RTK; GIS

中图法分类号: P228.4

现代社会发展的主要标志是城市化, 城市化的进程使得城市范围扩大, 功能复杂, 服务趋于多样化。只有进行城市信息化建设, 才能满足城市日益增长的各种需要。

城市信息化建设包含四个层次: 连接用户的宽带高速通信网络; 支持网络运行的标准、协议和软件; 支持各类用户信息表达的基础设施(即空间数据基础设施); 各类用户的动态信息系统。城市信息化建设的目标即是在城市区域内建立各类用户信息采集、管理、表达与分享应用的所谓数字区域, 以满足城市建设发展的各种需求。

在数字区域的基础设施中, 除网络、协议和软件外, 还有表达空间数据地理坐标的基础设施: 用于建立地理位置与地球空间的严格数学关系的地理坐标参考系统; 与时间和坐标相联系的自然、社会、人文地理信息的表达——地图; 快速、准确地获取上述地图和地理坐标的相关设备和设施(遥感、航摄、近景摄影、GPS/RS)。作为城市空间数据的基础设施, 不仅要求为建立数字区域而获取空间数据和地理特征, 而且对信息采集的实时性和准确性有较高的要求。当前, 只有利用 GNSS 定位技术建立的连续运行卫星定位服务系统(continuous operational reference system, CORS), 才能满足城市信息化建设的多种需求。CORS 不仅是动态的、连续的空间数据参考框架, 同时也是快

速、高精度获取空间数据和地理特征的设施之一, 因此, CORS 是一种重要的城市空间数据的基础设施。

城市 CORS 一般要求具备实时和事后精密定位服务两大功能。静态服务可通过数据交换或在线计算的方法实现, 比较困难的是实时动态定位技术。在过去, 实时动态定位主要依靠常规 RTK (real time kinematic) 技术, 作用范围小, 可靠性差。近年来, 多基站网络 RTK 技术已成为实时动态定位的主要发展方向。依靠网络 RTK 技术, CORS 可在城市区域内向大量用户同时提供高精度、高可靠性、实时的定位信息。

经过两年的努力, 我国建立了第一个实用化的实时动态 CORS——深圳连续运行卫星定位服务系统(Shenzhen continuous operational reference system, SZCORS), 其实时定位精度可达到平面 3cm, 垂直 5cm(实测值)。

1 城市 CORS 模型

1.1 结构模式

城市 CORS 多由卫星跟踪基准站、系统控制中心、用户数据中心、用户应用、数据通信 5 个子系统组成, 各子系统由数字通信子系统互联, 形成一个分布于整个城市的局域网(城域网)。城市的

* 收稿日期: 2003-04-28。

CORS 结构如图 1 所示。

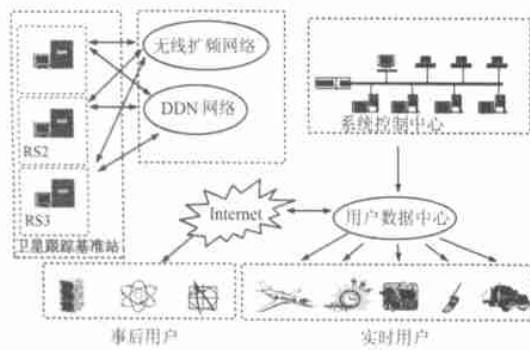


图 1 城市 CORS 系统结构

Fig. 1 Construction of CORS

1.1.1 卫星跟踪基准站

卫星跟踪基准站是 CORS 的数据源, 用于实现对卫星信号的捕获、跟踪、记录和传输。一般由观测墩和仪器室两部分组成, 主要设备应包括不间断电源、GPS 接收机、计算机、网络通信系统、防雷和防电涌设备等。

1.1.2 系统控制中心

系统控制中心是 CORS 的神经中枢, 由网络设备、服务器、计算机等构成的内部局域网和软件系统组成, 主要具有数据处理、系统监控、信息服务、网络管理等功能。数据处理系统对数据进行质量分析和评价, 数据综合、数据分流和数据存储, 利用网络 RTK 技术形成差分数据并提交给用户数据中心。系统监控系统自动监测设备状态、远程管理、故障分析与故障警视。信息服务系统提供事后精密处理服务、坐标系高程系转换服务、控制测量、工程测量软件下载和计算服务。网

络管理系统监控并管理网络, 防止对网络的恶意访问, 并通过 Internet 向用户提供 http、ftp 等访问服务。用户管理包括用户登记、注册、撤消、查询、权限等管理, 以及服务访问授权和用户使用记录。

1.1.3 用户数据中心

用户数据中心提供 CORS 服务的下行链路, 将控制中心的数据成果传递给用户, 由用户子系统的接收机完成定位。用户数据中心可分为静态数据服务单元和动态数据服务单元两部分。通过网站以 http、ftp 等方式向用户提供数据交换和在线计算, 可实现静态数据服务功能; 动态数据服务功能多依靠无线通信方式(如 GSM、CDMA、GPRS、RDS 等)实现。

1.1.4 数字通信子系统

CORS 各部分的连接是通过数字通信子系统完成的。其通信方式可采用有线网络或无线网络, 通信带宽一般要求不低于 64kb/s, 对通信网络的保密性和可靠性也有较高要求。

1.1.5 用户应用子系统

用户应用系统按照应用精度可分为 cm 级用户系统、dm 级用户系统、亚 m 级用户系统、m 级用户系统等。按照应用领域, 则可分为测绘与工程用户(cm 级、dm 级)、车辆导航与定位用户(m 级)、高精度用户(事后处理)等几类, 各类用户分别使用不同的差分信息。表 1 是对 CORS 系统中用户群落的基本分析。从表中可以看出, CORS 的服务对象涉及到城市建设中的众多领域, 也从另一方面表明了 CORS 是一种重要的城市空间数据基础设施。

表 1 CORS 用户群落分析

Tab. 1 Analysis of CORS User's Requirements

域	主要用途	精度需求/m	可用性需求(h/365d)	实时性需求
测绘工程	测图、施工控制	±0.01~±0.1	12	准实时或事后
地表及建筑物形变监测	安全监测	±0.001~±0.005	24	准实时或事后
工程施工	施工、放样、管理	±0.01~±0.1	24	准实时
地理信息更新	城市规划、管理	±0.1~±5.0	12	准实时
线路施工及测绘	通信、电力、石油、化工、沟渠施工及竣工测绘	±0.1~±5.0 (取决于比例尺等)	20	准实时
地面交通监控	车船管理、自主导航	±1~±10	24	延时≤3s
空中交通监控	飞机进近与着陆	±0.5~±6	24	延时≤1s
公共安全	特种车辆监控、事态应急	±1~±10	24	延时≤3s
农业管理	精细农业、土地平整	±0.1~±0.3	20	延时≤5s
海、空、港管理	船、车、飞机进港后调度	±0.5~±1	24	延时≤3s
气象	城市区域可降水汽预报	±0.005~±0.008 (对流层湿分量延迟)	24	准实时

用户通过 CORS 的事后数据服务可达到 mm 级定位精度, 通过实时数据服务则可获得 cm 级或 dm 级定位精度。虽然导航类用户的定位精度只需要达到 m 级, 但由于 GPS 标准定位服务 SPP 的精度远不能满足要求, 因此, 向导航类用户提供码差分数据服务仍是 CORS 重要的服务内容。为保障用户投资, 用户应用子系统应考虑 GPS 接收机的兼容性。

1.2 实时动态定位的主要技术

目前, 城市 CORS 中的实时动态定位主要依靠网络 RTK 技术。与常规 RTK 动态定位技术相比, 网络 RTK 技术采用误差逐项改正、集中计算、通过用户数据中心集中发布的方法, 突破了常规 RTK 作业系统分散、相互独立、临时性基准站频繁设置、有效范围小、精度随距离增大而迅速降低等问题, 可向大量用户同时提供高精度、高可靠性、实时的定位信息。其代表有虚拟参考站技术^[5, 6] (virtual reference station, VRS)、FKP 技术和综合误差内插技术^[4] (combined bias interpolation, CBI) 三类。三种代表技术的比较见表 2。

1.2.1 VRS 技术

VRS 由德国 Terrasat 公司于 1999 年推出, 经过几年的提高完善已形成实用化、商品化的技术

和软件系统。VRS 分别估计电离层、对流层模型, 并对观测值进行修正, 每邻近的 3 个参考站产生一组区域改正参数, 结合用户站反馈的定位信息生成一个虚拟参考站。VRS 要求 CORS 系统具备和用户应用系统的双向数据通信链路, 用户接收机需要通过 NMEA 格式把它的点位信息发送给中央控制站, CORS 通过正常的 RTCM 信息发送给用户接收机, 用户无需添加额外设备。

1.2.2 FKP 技术

FKP 技术由德国 Geo⁺⁺ 公司推出。该技术采用整体的网络解, 对数据用卡尔曼滤波进行非差处理。整个网络仅生成一组 FKP 区域改正参数, 并通过扩展 RTCM 协议发给流动站。采用 FKP 技术的 CORS 只需要单向数据传输链路, 但用户需要增加相关设备以进行扩展 RTCM 协议的变换。

1.2.3 CBI 技术

CBI 由武汉大学 GPS 中心于 2002 年推出, 该技术利用卫星定位误差的相关性计算基准站上的综合误差, 并内插出用户站的综合误差。在电离层变化较大的时间段和区域内, 应用 CBI 技术较有优势。采用 CBI 技术, CORS 只需要单向数据传输链路, 但用户需添置设备。

表 2 网络 RTK 技术比较

Tab. 2 Comparison of Network RTK Technology

	VRS	FKP	CBI
电离层	使用改正模型, 改正效果受外界影响	使用改正模型, 改正效果受外界影响	不使用模型, 由已知误差直接改正, 改正效果受外界影响小
对流层	使用改正模型, 改正效果受外界影响	使用改正模型, 改正效果受外界影响	不使用模型, 由已知误差直接改正, 改正效果受外界影响小
轨道误差与其他误差	不能消除或借助其他方法	不能消除或借助其他方法	直接消除或削弱
基准站使用	全部使用	取距离流动站最近的 3 个	根据流动站和基准站的位置选择

2 SZCORS 介绍

2.1 系统结构

SZCORS 是由深圳市国土规划局主持, 武汉大学 GPS 工程研究中心承建的实时动态型 CORS。该项目于 2000 年 5 月正式启动, 于 2001 年 9 月建成并投入试验和试运行。

目前, SZCORS 由 5 个卫星跟踪基准站、系统控制中心、用户数据中心、用户应用、数据通信 5 个子系统组成, 各子系统依靠政府信息网络互联, 形成一个分布于整个深圳城镇郊区的局域网, 网络结构见图 2。网络实时动态定位采用 VRS 技

术, 系统的数据服务分两种方式: ① 通过访问服务器以 GSM 数据通信方式向用户提供实时精密定位服务; ② 通过 Internet 网络向用户提供精密事后处理的数据服务, 并发布系统工作状况、新闻等动态信息。

2.2 性能指标

SZCORS 实际测定的主要技术指标见表 3, 它主要具备以下功能。

1) 采用 VRS 技术提供 GPS 实时测量数据服务, 满足非隐蔽区工程测量、地图修测等要求; 利用一台测量型 GPS 接收机即可进行城市各级控制点测量。

2) 采用 GSM 数据通信技术进行实时定位的

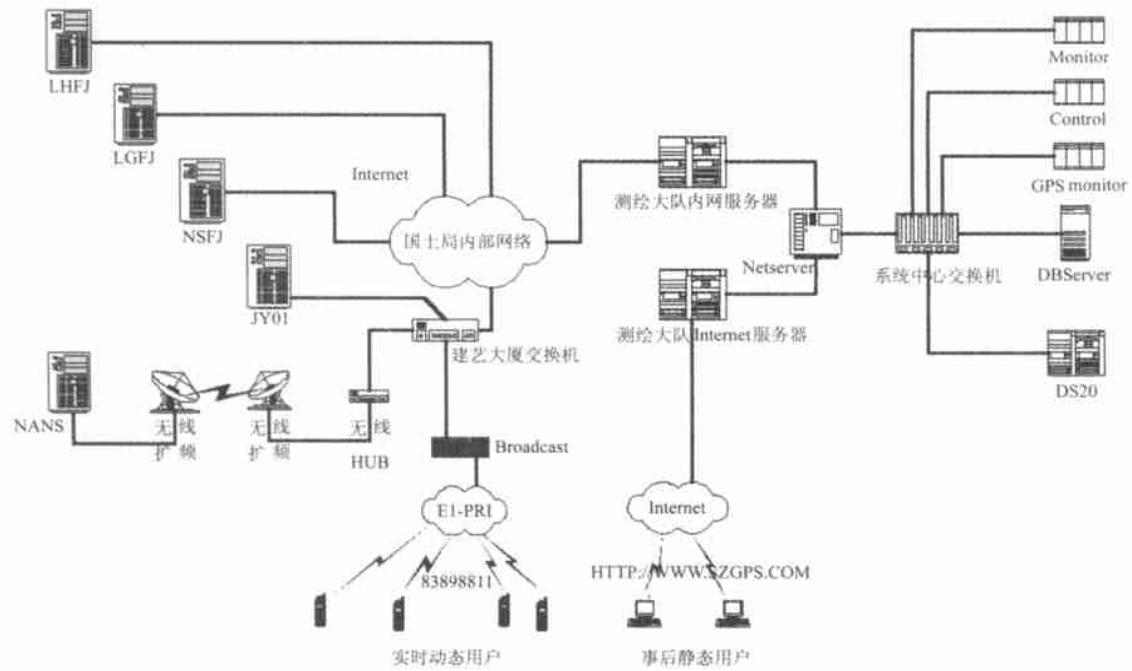


图 2 SZCORS 网络结构

Fig. 2 Construction of SZCORS Network

表 3 SZCORS 系统的技术指标

Tab. 3 Technical Specification of SZCORS

项目	内 容	技术 指 标
服务范围	导航	陆上和海上导航, 地理信息采集、更新
	定位	测绘、地籍、规划、工程建设、变形监测、地壳形变监测
系统精度	动态参考基准	地心坐标的坐标分量的绝对精度不低于 $0.1m$ 基线向量的坐标分量的相对精度不低于 3×10^{-7}
	实时动态定位	水平 $\leq 3cm$, 垂直 $\leq 5cm$
可用性	事后精密定位	水平 $\leq 5mm$, 垂直 $\leq 10mm$
	导航	水平 $\leq 5m$, 垂直 $\leq 7m$
完好性	导航	95.0% (365 天内, 经验值); 95.0% (1 天内)
	定位	95.0% (365 天内, 经验值); 95.0% (1 天内)
兼容性	报警时间	< 6s
	误报概率	< 0.3%
兼容性	导航、定位	RTCM-SC104 V2.2, CMR Plus RINEX

数据服务, 利用 Internet 实现事后精密定位的数据服务。

3) 完成了永久性的基准站网络系统, 可升级为国家级 GPS 跟踪站、国家地壳形变监测站。

3 CORS 系统试验

在 CORS 工程应用中, 用户最关心的是系统

的动态测量精度和可用性两个指标。以下就 SZCORS 的测试情况, 从动态定位精度、系统可用性、初始化时间三个方面对动态 CORS 的性能作概略介绍。

3.1 动态定位精度

动态定位精度可从内符合和外符合两方面进行考察。通过对 SZCORS 系统的测试, 得到的内符合和外符合精度见表 4。表中外符合精度相对于深圳市独立坐标而言, 因包含了转换参数及已知坐标误差, 因此数值较大。数据分析表明, SZCORS 用户实时定位精度可达到平面 $0.030m$, 垂直 $0.050m$, 且精度分布比较均匀, 与距离无关。

3.2 系统可用性

CORS 的可用性可从时间和空间两方面来衡量, 空间可用性指系统的覆盖范围; 时间可用性主要指 CORS 在单位时间内的可工作时间, 主要与电离层影响、卫星分布、观测环境等因素有关。

1) 空间可用性

通过移动中的实时动态定位, 可考察 CORS 的空间可用性指标。在 SZCORS 中进行连续动态 RTK 测量的汽车运行轨迹见图 3, 定位时车辆行驶速度从 $0 \sim 80km/h$ 不等。由于观测环境复杂, 遮挡严重, 经常因卫星信号失锁而造成定位中断。车辆通过遮挡物后, 接收机以 OTF(on the fly, 运动中初始化)方式恢复 RTK 测量, 因此图中记录的轨迹呈现间断性, 间断处对应于立交桥或其他遮挡物。

表4 SZCORS 动态定位精度

Tab. 4 Precision of Real Time Positioning of SZCORS

区间	内符合精度统计 \bar{m}			区间	外符合精度统计 \bar{m}	
	x	y	h		x	y
最大值	0.017	0.044	0.027	最大值	0.047	0.064
平均值	0.006	0.008	0.013	平均值	0.017	0.021
< 20mm	100.0%	94.3%	91.4%	< 20mm	65.6%	53.1%
20~30mm	0.0%	2.9%	8.6%	20~40mm	31.3%	37.5%
> 30mm	0.0%	2.9%	0.0%	> 40mm	3.1%	9.4%

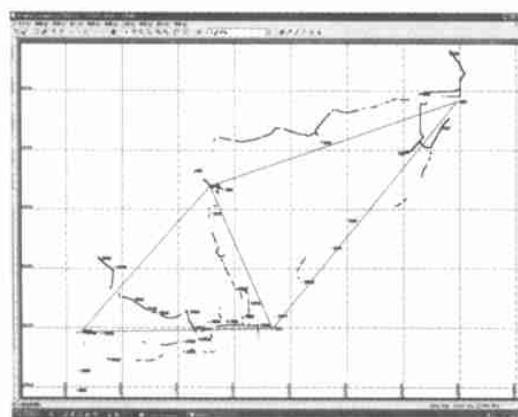


图3 连续动态 RTK 测量汽车行驶轨迹

Fig. 3 Tracking of Vehicle Using
RTK Fixed Solution

2) 时间可用性

通过在不同时间段上对同一点进行重复测量、精度分析及定位变化, 可概略反映出系统的全

天可用性。SZCORS 的实测结果分析见表 5, 定位结果变化见图 4。可以看出, 不同时段的定位结果基本一致。

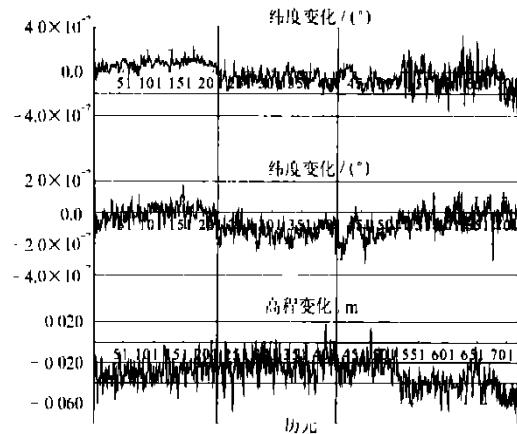


图4 不同时段定位结果比较

Fig. 4 Curves of Positioning Results
in Different Sessions

表5 不同时段 RTK 测量的精度比较

Tab. 5 Comparison of the Precisions in Different Sessions of RTK

时段	卫星数量	初始化时间 /s	观测值个数	内符合精度			外符合精度		
				B/k''	L/k''	H/m	B/k''	L/k''	H/m
10:00~10:20	7	14	206	1.416×10^{-4}	1.875×10^{-4}	0.010	3.072×10^{-4}	1.875×10^{-4}	0.031
15:00~15:20	6	14	307	2.089×10^{-4}	1.926×10^{-4}	0.011	2.918×10^{-4}	4.964×10^{-4}	0.025
21:00~21:30	7	12	208	4.349×10^{-4}	2.146×10^{-4}	0.011	4.866×10^{-4}	2.290×10^{-4}	0.044
总计			721	3.556×10^{-4}	2.846×10^{-4}	0.014	3.627×10^{-4}	3.607×10^{-4}	0.033

3.3 初始时间

CORS 用户作业时, 由于需迭代计算整周, 接收机在得到浮动解后, 需经过一定时间的观测和计算才能获得 RTK 的固定解, 这段时间称为初始化时间。影响 RTK 作业初始化时间的主要因素有观测卫星数、卫星分布、与基准站的距离和观测环境等。SZCORS 的初始化时间和卫星数的统计见表 6。从表 6 可以看出, 作业中可用卫星数为 5 颗的概率最大; 6 颗卫星作业情况下的初始化最快; 网络 RTK 下作业的初始化时间远小于常规 RTK 作业的初始化时间, 且与距离无关。

表6 初始时间统计

Tab. 6 Statistics of Initial Time of RTK Positioning

卫星个数	次数	占测试次数的 百分比 / %	初始化时间	
			平均值	最大值
5	17	38.64	20.3	40
6	13	29.55	14.2	20
7	13	29.55	26.2	120
8	1	2.27	12.0	12
总计	44			

4 结语

作为空间数据基础设施, 连续运行卫星定位

服务系统的建设逐渐成为数字城市和信息化建设的重要内容。许多城市已将 CORS 的建设列入政府基础设施计划。SZCORS 的建立为在我国其他城市推广建立 CORS 提供了一个成功的范例。

随着 CORS 在我国的普及, 城市 CORS 今后面临的主要问题, 是研究如何拓宽系统的服务领域, 开展多层次的服务内容, 丰富系统用户。如开展区域电离层研究; 开通 GPS 中短期天气预报功能; 通过广播方式向导航用户提供差分服务; 与当地精化重力场模型相结合, 提供高程服务; 在稳定的地区建立永久性基岩参考站, 开展区域地壳形变及高层建筑物形变监测服务等。此外, 还需要逐步探索并完善 CORS 的服务和维护模式, 建立有关 CORS 的建设规范, 开拓并引导市场。

参 考 文 献

1 刘经南. 连续运行参考框架网络——21 世纪国家空间

信息重要基础设施. 见: 大地测量学论文集. 北京: 测绘出版社, 1999

- 2 刘经南, 陈俊勇, 张燕平, 等. 广域差分 GPS 原理和方法. 北京: 测绘出版社, 1999
- 3 陈俊勇. 世纪之交的全球定位系统及其应用. 测绘学报, 1999, 28(1): 6~10
- 4 高星伟. GPS/GLONASS 网络 RTK 的算法研究与程序实现. [博士论文]. 武汉: 武汉大学, 2002
- 5 Vollath U, Landau H, Chen X M. Network RTK Concept and Performance. International Symposium on GPS/GNSS, Wuhan, 2002
- 6 Landau H. VRS Technology Application in Europe and Asia. International Symposium on GPS/GNSS, Wuhan, 2002

第一作者简介: 刘经南, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士。现主要从事空间大地测量和地球动力学研究。代表成果: 国家高精度 GPS 数据处理理论与方案; GPS 卫星定位处理综合软件; WADGPS 数据处理软件; 青藏高原地壳运动与形变的 GPS 研究, 等。

E-mail: jnliu@whu.edu.cn

Continuous Operational Reference System— Infrastructure of Urban Spatial Data

LIU Jingnan¹ LIU Hui²

(1 Presidential Secretariate, Wuhan University, Luojia Hill, Wuhan, China, 430072)

(2 Research Center of GPS, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

Abstract: Urban continuous operational reference system is one of the infrastructures of urban spatial data. It provides real time and post-processing precise positioning services to satisfy the demands of position, time and real time positioning in all kinds of fields. This paper emphasizes on the construction of urban CORS and introduces the structure and operation of CORS by taking Shenzhen's continuous operational reference system as the example.

Key words: GPS; RTK; CORS; network RTK; GIS

About the first author: LIU Jingnan, professor, Ph. D supervisor, member of the Chinese Academy of Engineering. His major research orientations include space geodesy and geodynamics. His typical achievements are the theory and scheme of high precision GPS data processing in China; the comprehensive software of GPS satellite positioning processing; the software of WADGPS data processing; the crustal movement and deformation of Qinghai-Tibet Plateau using GPS, etc.

E-mail: jnliu@whu.edu.cn

(责任编辑: 平子)