

文章编号: 1674—8247(2022)02—0057—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.02.011

铁路 CP II 和 CP III 控制网同步测量与联合平差方法研究

曹体涛

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘要:为解决在多联、多跨连续纵向连接特殊梁体结构及特殊铁路轨道控制网测量时,快速准确获取 CP III 控制点平面坐标的难题。传统 CP II 和 CP III 网采用不同的测量方式,由于观测的时间不同步,必然存在两次对中整平误差。研究采用 CP II 与 CP III 同步测量的方法,在满足 GNSS 观测和全站仪联测的任意位置摆设脚架的情况下,可节省 CP II 埋桩费用;在安装的同时连接 GNSS 天线和棱镜的工装,可以减少两次对中整平误差。GNSS 接收机观测 CP II 与全站仪边角交会测量 CP III 同步进行,以联测的起算点进行联合平差计算,能够满足相应级控制网等级的测量要求,提高了内外业工作效率,可在以后轨道控制网测量时推广应用。

关键词:CP II 控制网; CP III 控制网; 同步测量; 联合平差

中图分类号:U212.24 **文献标志码:**A

Study on Synchronous Measurement and Combined Adjustment for Railway CP II and CP III Control Networks

CAO Titao

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: The purpose of this paper is to solve the difficulty in obtaining the plane coordinates of CP III control points quickly and accurately when measuring special beam structures and special railway track control networks with multi-connection and multi-span continuous longitudinal connections. According to the traditional mode, different measurement methods are adopted for CP II and CP III networks, so that there must be two alignment errors since the observation times are not synchronized. Synchronous measurement of CP II and CP III control networks can save the cost of CP II pile burying under the condition that the tripod is arranged at any position meeting the requirements of GNSS observation and total station joint measurement. At the same time of installation, the GNSS antenna and prism toolings are connected, so as to reduce the two alignment errors. The observation of CP II by the GNSS receiver and the linear-angular intersection survey of CP III by the total station are carried out simultaneously, and the combined adjustment calculation is carried out with the starting point of the joint survey, which can meet the survey requirements of the corresponding level of the control network, improve the work efficiency of office and fieldwork, and can be popularized and applied in the future survey of the track control network.

Key words: CP II control network; CP III control network; synchronous measurement; combined adjustment

随着铁路建设的快速发展,对列车运行速度和线路平顺性有了更高的要求。并非仅仅通过利用高精度

的测量仪器设备,采用高等级的测量方法来建立客运专线控制网,便可一劳永逸地解决无砟轨道的测量问

收稿日期:2021-10-09

作者简介:曹体涛(1977-),男,高级工程师。

引文格式:曹体涛. 铁路 CP II 和 CP III 控制网同步测量与联合平差方法研究[J]. 高速铁路技术, 2022, 13(2): 57-61.

CAO Titao. Study on Synchronous Measurement and Combined Adjustment for Railway CP II and CP III Control Networks[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(2): 57-61.

题^[1]。卢建康^[2]研究的我国高速铁路精密工程测量技术体系及特点,提出了高速铁路工程测量平面控制网分级布设的方法及按“三网合一”的原则进行测量的观点。余鹏^[3]对高速铁路运营期线上平面控制网复测方法进行研究时,研制了 GNSS 天线-精密棱镜连接装置。刘儒宏^[4]等在基于超站仪的普速铁路平面控制网联合平差应用研究时,对 GNSS 观测基线和全站仪边角观测数据联合平差方法进行了研究。传统铁路精密测量控制网建立时,路基和桥梁段的 CP II 控制网一般采用 GNSS 接收机进行观测,CP III 控制网则采用智能型全站仪进行数据采集,存在现场分级埋设控制桩,且利用两种不同仪器进行施测,观测的时间也不同步,必然存在两次对中及观测误差等问题。为尽量减小外业数据采集误差,提高测量效率,本文在充分利用现有高精度测量设备的基础上,研究不埋设 CP II 控制桩,只需在对空通视条件良好的任意位置架设 GNSS 接收机作为 CP II 点,在 CP II 与 CP I 点联测的同时,全站仪边角交会测量 CP III 并对 CP II 点同步进行联测的新方法。最终以联测的 CP I 控制点为起算点进行联合平差计算,得到各 CP III 控制点的平面坐标,用于指导轨道板铺设及轨道精调。

1 CP II 和 CP III 分别测量

目前,铁路线路工程平面控制测量均按分级布设、逐级控制的原则建立,第一级为基础平面控制网(CP I),第二级为线路平面控制网(CP II),第三级为轨道控制网(CP III)^[5]。隧道外 CP I 和 CP II 控制网采用 GNSS 进行施测,CP III 控制网采用智能全站仪进行施测。

1.1 利用 GNSS 测量 CP II

为确保线路控制基准的延续性,一般在轨道控制网测量前,首先将线下 CP II 控制点引测至方便运营维护和轨道控制网联测方便的线上,路基和桥梁段仍按规范要求的每 600~800 m 加密 1 个线上 CP II 控制点。利用 GNSS 接收机将线下 CP I 和 CP II 控制点与线上加密 CP II 点组网,进行外业数据采集,将控制点平面坐标从线下传递至线上。

外业数据采集前,需先在线上埋设加密 CP II 点。观测时将 GNSS 接收机安置在 CP II 点上,通过 CP II 与 CP I 点间的联测基线构网,按照规范各等级要求的观测时段和时长进行数据采集。采用随机商业软件进行基线处理,各项控制指标满足规范限差要求后,以联测的 CP I 点为起算点,进行固定数据平差计算,得到各加密 CP II 点的坐标。CP II 与 CP I 联测构网进行外业数据采集的网形如图 1 所示。

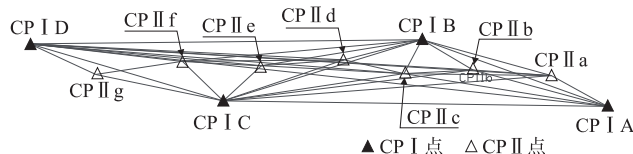


图1 CP II 与 CP I 联测构网示意图

1.2 利用全站仪测量 CP III

线路平面控制网与轨道控制网之间坐标传递时,CP II 点的坐标已经通过 GNSS 观测获得。CP III 测量是利用全站仪自由测站边角交会的测量方式将 CP II 点与 CP III 点构成边角网进行数据采集,并将加密 CP II 点作为已知点进行联测。外业数据采集时,需在 CP II 点摆设棱镜,且至少保证两个以上自由测站点对 CP II 点进行联测,或者将全站仪直接架设在 CP II 点上对 CP III 点进行观测。各项限差满足规范要求的要求后,以联测 CP II 点坐标为起算数据,采用固定数据对边角观测值进行平差计算,得到各 CP III 点的坐标。CP III 与 CP II 点联测的网形如图 2 所示。

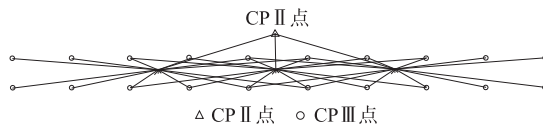


图2 CP III 与 CP II 联测构网示意图

按分级布网、逐级控制的原则,路基和桥梁段 CP II 与 CP III 网一般采用分别布网和测量的方式建立。分别建网测量首先要进行 CP II 点控制桩地面标志的埋设,GNSS 接收机测量 CP II 时需对中整平,并且只能在获得 CP II 坐标后才能进行 CP III 测量网的平差计算。利用全站仪边角交会法进行 CP III 数据采集时,必须在 CP II 点摆设棱镜或者将全站仪直接架设在 CP II 点上并对中整平对其进行联测,利用边角观测测量将 CP III 点与 CP II 点构成整网。CP II 与 CP III 分步测量的方式,观测时间不同步,两次对中整平误差不可消除。特别是今后将面临众多运营铁路的轨道控制网测量工作,CP II 与 CP III 网分别测量不利于天窗时间的充分利用。也很难通过改变测量手段提高外业数据采集的效率。因此,有必要研究一种既能保证测量精度又能提高作业效率、节省成本的 CP III 和 CP II 同步测量的新方法。

2 CP II 和 CP III 同步测量与联合平差

2.1 CP II 和 CP III 同步测量

利用专门研制精加工的可同时安装 GNSS 接收机和棱镜的工装,保证棱镜中心和 GNSS 接收机天线中心的竖向同轴。能够实现全站仪对工装上的棱镜进行

边角观测的同时,安装在工装上的 GNSS 接收机与架设在 CP I 或线下 CP II 点上的 GNSS 接收机进行同步观测。该种测量方式,CP II 点仅作为中间过度的自由设站点,可不埋设标石,仅通过同步联合测量便可实现 CP I / CP II 至 CP III 点的坐标传递。

即在对空条件良好的地方任意设置 CP II 点,通过同轴连接工装同时安装 GNSS 接收机和供全站仪测量的棱镜。CP III 网测量时,全站仪任意设站,对设站点前后各 3 对 CP III 点和摆放在自由设站工装上的棱镜进行边角交会测量;同时架设在 CP II 点工装上的 GNSS 接收机对附近的至少 3 个 CP I 点进行联测,实现 CP II 点和 CP III 点同步测量^[6]。外业数据采集时,至少应有 2 个自由测站 CP II 点同时与 3 个 CP I 点进行同步观测,即在 CP II 点滚动换站测量时,能够保证 GNSS 观测的相邻 CP II 点间有直接观测边,CP II 点与 CP I 点间可以构成以边连接的大地四边形网。

换站测量时,采集 CP III 数据的全站仪沿作业前进方向每次换站跨两对 CP III 点,依次滚动设站。当摆放在 CP II 工装上的 GNSS 接收机满足与 CP I 点联测规范要求的时长,同时安装在工装上的棱镜也满足全站仪边角交会观测方向的要求后,即可沿作业前进方向滚动设置联合测量的 CP II 工装,进行下一循环的测量。当全站仪依次完成 P1 ~ P4 点 CP III 数据采集设站测量时,在 CP II a 和 CP II b 与 CP I 点联测时间满足规范要求后,CP II a 点可滚动设站至 CP II c 点,同时 CP I A 点可滚动设站至 CP I D 点。即第一个时段 GNSS 接收机观测的点为 CP I A ~ CP I B ~ CP I C ~ CP II a ~ CP II b,全站仪对应设站编号为 P1 ~ P4。CP II 换站后 GNSS 接收机观测的第二个时段点为 CP I B ~ CP I C ~ CP I D ~ CP II b ~ CP II c,全站仪沿测量前进方向依次设站观测。GNSS 测量第一时段到第二时段的网形由 CP I B ~ CP I C、CP I C ~ CP II b 和 CP I B ~ CP II b 3 条基线边传递,也满足规范要求 GNSS 观测时段间的边连接。按照这个测量流程依次滚动设站,可实现 CP III 网和 CP II 网的同步测量。CP II 滚动换站测量流程如图 3 所示。

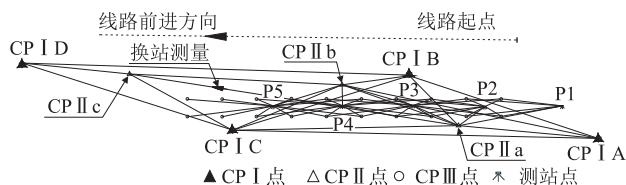


图3 CP III/CP II 同步测量与 CP I 联测构网示意图

2.2 CP II 和 CP III 联合平差

外业同步测量时,GNSS 采集的数据为导航卫星

的载波相位观测值,全站仪采集的数据为边角观测值。文中 CP II 和 CP III 联合平差是指将 GNSS 和全站仪获取的外业观测值投影到二维平面观测值后的联合平差。因此,在外业采集的各项观测数据满足规范要求后,首先应对原始观测值进行预处理。利用 GNSS 数据处理软件进行基线解算,再利用大地微分公式将 WGS84 坐标系下的三维基线向量及其随机模型转换为高斯平面的二维基线向量^[7]。全站仪获取的边角观测值也需要投影处理,通过两化改正将利用全站仪边角观测值计算的平距换算到工程独立坐标系下。

联合平差以二维基线向量、水平方向、平距为观测值开列误差方程,并考虑 GNSS 与全站仪分别观测边长可能存在的尺度不统一,以及各观测值权值如何确定的问题。为验证同步测量及联合平差精度,在数据处理时,将全站仪测量获取的边角数据和 GNSS 测量获取的基线数据分别进行了逐级平差^[8]和联合平差^[9],并对两种平差方式获得的各 CP II 点和 CP III 点的测量精度和平面坐标进行比较分析。

3 项目应用

3.1 项目概况

本文选取某 350 km/h 高速铁路为实验线路,进行 7 km 线路长度的 CP II 和 CP III 网同步测量实验,并对逐级平差与联合平差计算数据的结果进行对比分析,以探究本文所述方法的正确性。

3.2 作业流程

首先,在铁路线下的基础平面控制点 CP I 和线路平面控制点 CP II 上安置 GNSS 接收机;其次,在满足 GNSS 和 CP III 联测条件的地方任意设置 CP II 点,CP II 点安装接收机和棱镜的同轴测量工装,保证联测网形满足相关规范要求;最后,在线上每隔 60 m 1 对的 CP III 点上安置棱镜,使用全站仪对测站点前后各 3 对 CP III 点和附近任意设置的 CP II 点进行边角交会测量,测量时至少保证 2 个及以上的任意设站 CP II 点的接收机与临近 3 个及以上的 CP I 点进行联测,保证相邻 CP II 点间有直接观测边并满足规范要求的观测时长。

测量时,全站仪轨道控制网(CP III)和 GNSS 接收机测量线路平面控制网(CP II)两项工作同步进行,沿线路方向,按此测量模式依次滚动向前设站测量。

CP III 与 CP II 联合测量数据采集时,每次 CP III 设站测量加换站时间约 15 min,相邻 CP II 点间距按 600 m 计算,需测量 5 站 CP III,总用时约 60 min。从测量时间看,CP III 测量期间 CP II 联测 CP I 的时间能够满足高速铁路规范三等 GNSS 网观测要求。

3.3 数据处理与统计

对外业采集的边角观测数据和基线数据分别进行逐级平差和联合平差,分别得到逐级平差和联合平差的 CPⅡ点和 CPⅢ点的各项精度指标和平差坐标,该段控制网中共测量 GPS 基线向量数 153 个、角

度观测数 565 个、距离观测数 565 个、CPⅢ点数 207 个。

为对比逐级平差与联合平差所得的坐标差异情况,对两种平差计算方式所得的线路右侧 CPⅢ点坐标较差进行统计,如图 4 所示。

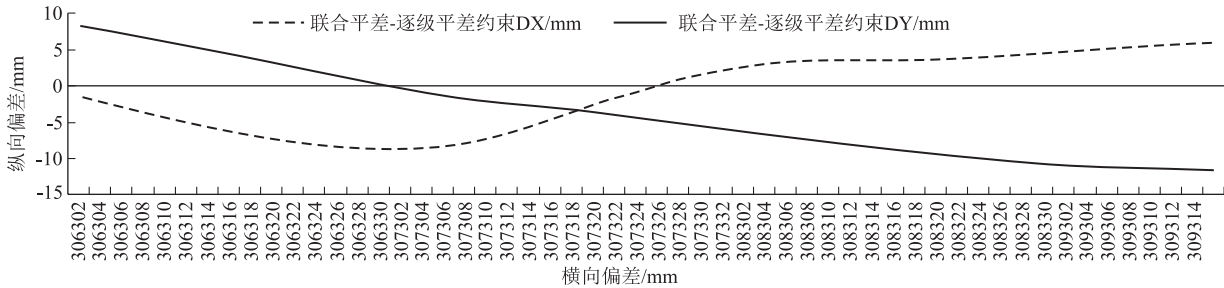


图 4 联合平差与逐级平差坐标较差部分统计图

从图 5 可以看出,逐级平差时 CPⅢ网采用 CPⅡ平差后的结果作为 CPⅢ网的强制约束条件,与 CPⅡ、CPⅢ网联合平差的结果在 CPⅢ点 XY 坐标上具有一定差异。哪种方法所得结果与控制点的真实位置更为附和,需进一步研究。

3.4 精度统计

经过对两种平差结果统计,分别从基线向量、水平方向和距离观测值的改正数以及相邻 CPⅢ点的相对点位精度等指标对二者的差异进行对比分析,并论证本文方法是否满足规范要求。对比结果如表 1~表 6 所示。

表 1 逐级平差与联合平差基线向量改正数最大值统计表

FROM	TO	Dx/m	Dy/m	联合平差		逐级平差		备注
				Vx/mm	Vy/mm	Vx/mm	Vy/mm	
CPⅡ 100A	0312P01	43.318 2	684.894	24.33	-12.17	21.70	-8.20	联测 CPⅡ
0311P01	CPⅡ 099A	197.258 4	-1 121.44	-0.96	20.49	-7.30	18.50	联测 CPⅡ
CPⅡ 100A	CPⅡ 099A	51.322 7	856.372 1	37.54	10.85	37.10	11.90	联测 CPⅠ
CPI20	CPⅡ 099A	-59.122 1	-733.521	1.06	32.14	1.40	31.20	联测 CPⅠ

表 2 逐级平差与联合平差最弱基线边统计表

FROM	TO	A/dms	MA/(")	限差/(")	S/m	M _S :S	限差/mm	方法
0309P02	GCPⅡ 096-1A	118.380 3	1.06	1.7	303.336 1	1/174 000	1/100 000	逐级
0309P02	GCPⅡ 096-1A	118.380 3	1.3	1.7	303.334 6	1/198 330	1/100 000	联合

由表 1、表 2 可知,联合平差与逐级平差所得基线向量改正数存在一定差异,但不同方法的验后精度均满足高速铁路规范 CPⅡ控制网基线测量的技术要求。

由表 3 可知,联合平差与逐级平差所得方向改正数存在一定差异,但是不同方法的验后精度均满足高速铁路规范 CPⅢ控制网方向测量的技术要求,且联合

表 3 逐级平差与联合平差 CPⅢ网方向改正数最大值统计表

联合平差 CPⅢ网方向改正数最大值						
From	To	Obser / (dms)	Ma / (")	V / (")	限差 / (")	备注
0306C06	306320	184.043 3	0.24	-2.47	3	联测 CPⅢ
0306C02	0306P01	179.370 3	0.24	-2.35	4	联测 CPⅡ
逐级平差 CPⅢ网方向改正数最大值						
From	To	Obser / (dms)	Ma / (")	V / (")	限差 / (")	备注
0307C03	0307306	356.252 930	0.87	2.52	3	联测 CPⅢ
0306C02	0306P01	179.370 330	0.87	-2.53	4	联测 CPⅡ

平差方向观测值的中误差小于逐级平差,改正数亦略小于逐级平差。

由表 4 可知,联合平差与逐级平差所得距离改正数存在一定差异,但是不同方法的验后精度均满足高速铁路规范 CPⅢ控制网距离测量的技术要求,且联合平差中与 CPⅡ点联测的距离改正数小于逐级平差。

表 4 逐级平差与联合平差 CPⅢ网距离改正数最大值统计表

联合平差 CPⅢ网距离改正数最大值						
From	To	Obser /m	Ms /mm	V /mm	限差 /mm	备注
0310C07	310326	33.170 15	0.16	-0.85	2	联测 CPⅢ
0306C07	0306P02	63.820 39	0.23	-0.61	4	联测 CPⅡ
逐级平差 CPⅢ网距离改正数最大值						
From	To	Obser /m	Ms /mm	V /mm	限差 /mm	备注
0307C06	0307322	17.292 82	0.14	0.84	2	联测 CPⅢ
0309C02	0309P01	131.279 16	0.39	1.39	4	联测 CPⅡ

表 5 逐级平差与联合平差 CPⅢ 相邻点最弱精度统计表

From	To	Ma/(″)	Ms/mm	S/Ms	E/mm	F/mm	P/mm	T/(dms)	平差方式
0312302	0311332	1.33	0.52	155 942	0.52	0.32	0.61	8.080 1	联合平差
0312302	0311332	1.18	0.46	174 512	0.58	0.46	0.74	98.553 6	逐级平差

表 6 逐级平差与联合平差 CPⅢ 相邻点相对精度平均值统计表

相邻点相对中误差平均值/mm	平差方式
0.42	联合平差
0.62	逐级平差

由表 5、表 6 可知,联合平差所得 CPⅢ 相邻点的相对点位精度高于逐级平差结果。

3.5 工作效率对比

传统 CPⅡ、CPⅢ 逐级测量时,需要安排两次外业工作,分别开展 CPⅡ(加密)测量和 CPⅢ 平面测量,且 CPⅢ 测量前必须先在线上埋设 CPⅡ 控制桩。采用本文方法,仅需进行一次工作安排,避免二次入场费;不埋设 CPⅡ 桩,可节省埋桩费用和时间;联合平差相比逐级平差也可节省内业数据处理时间。总的估算,可提高测量效率 30%~40%。

4 结论

通过现场实验及 CPⅡ 与 CPⅢ 控制网按传统逐级测量分步平差和同步测量联合平差各项指标对比结果看,同步测量和联合平差方法主要有以下 3 点优势。

(1)CPⅡ 点和 CPⅢ 点的同步测量方法减少了 CPⅡ 点的埋桩成本和时间,即测即用,不需要对中,提高了外业测量效率。

(2)通过联合平差可得到 CPⅢ 点的坐标,减少了操作流程,节省了内业数据处理时间。

(3)通过两种测量和平差计算方法比较,联合平差结果的精度和可靠性更高。联合平差平差计算结果为整网最优解,CPⅡ 与 CPⅢ 点间的兼容性更好,线路更平顺。

因此,CPⅡ 与 CPⅢ 同步测量联合平差的测量方式可在今后铁路项目生产中推广应用。特别是目前跨江、跨海的特长桥梁设计时,设计有多联多跨连续纵向连接的特殊梁体结构,采用本文测量方法,可快速准确获取 CPⅢ 点的平面坐标。

参考文献:

[1] 朱颖. 客运专线无砟轨道铁路工程测量技术[M]. 北京:中国铁道出版社,2009.

Zhu Ying. Engineering Survey Technology for Ballastless Track of Passenger Dedicated Line[M]. Bei Jing: China Railway Publishing House,2009.

[2] 卢建康. 论我国高速铁路精密工程测量技术体系及特点[J]. 高速铁路技术, 2010, 1(1): 31-35.

LU Jiankang. On Precise Engineering Survey Technology System and Characteristic for High Speed Railway in China[J]. High Speed Railway Technology, 2010, 1(1): 31-35.

[3] 余鹏. 高速铁路运营期线上平面控制网复测方法探讨[J]. 铁道勘察, 2018, 44(5): 12-17.

YU Peng. Discussion on the Repetition Measurement Method on the Plane Control Network of the Line in High-speed Railway Operation Period[J]. Railway Investigation and Surveying, 2018, 44(5): 12-17.

[4] 刘儒宏, 曹成度, 刘成龙, 等. 基于超站仪的普速铁路平面控制网联合平差应用研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2021, 44(2): 64-67.

LIU Ruhong, CAO Chengdu, LIU Chenglong, et al. Research on Application of Combined Adjustment of Existing Normal-speed Railway Control Network Based on Super Station[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2021, 44(2): 64-67.

[5] TB 10601-2009 高速铁路工程测量规范[S].

TB 10601-2009 Code for Engineering Survey of High Speed Railway[S].

[6] 朱永辉, 刘成龙, 高淑照, 等. 基于超站仪的既有线测量方法研究[J]. 铁道勘察, 2019, 45(4): 1-5.

ZHU Yonghui, LIU Chenglong, GAO Shuzhao, et al. The Research on Measurement Method of Existing Railway Based on Super Station[J]. Railway Investigation and Surveying, 2019, 45(4): 1-5.

[7] 崔希璋, 於宗涛, 陶本藻, 等. 广义测量平差(第二版)[M]. 武汉大学出版社, 2012.

CUI Xizhang, YU Zongchou, TAO Benzao, etc. Generalized Adjustment of Measurement (Second Edition) [M]. Wuhan University Press, 2012.

[8] 武汉大学测绘学院测量平差学科组. 误差理论与测量平差基础[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2009.

School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University. Error Theory and the Basis of Measurement Adjustment [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2009.

[9] 余航. 总体最小二乘联合平差方法及其应用研究[D]. 抚州: 东华理工大学, 2016.

YU Hang. Research on the Total Least Squares Joint Adjustment and Its Application[D]. Fuzhou: East China Institute of Technology, 2016.