

高速铁路平面控制网更新方法的研究与应用

袁 达

Research and application of renewal method of high speed railway horizontal control network

YUAN Da

引用本文:

袁达. 高速铁路平面控制网更新方法的研究与应用[J]. 全球定位系统, 2022, 47(1): 80–85. DOI: [10.12265/j.gnss.2021080901](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021080901)

YUAN Da. Research and application of renewal method of high speed railway horizontal control network[J]. Gns World of China, 2022, 47(1): 80–85. DOI: [10.12265/j.gnss.2021080901](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021080901)

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12265/j.gnss.2021080901>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

GNSS / INS组合的铁路轨道三维坐标快速精密测量

Fast and Precise Measurement on the Railway Track by GNSS / INS

全球定位系统. 2018, 43(4): 24–28

BDS / GPS工程控制网质量分析

Quality analysis of BDS / GPS engineering control network

全球定位系统. 2020, 45(2): 30–36

北斗卫星发射场系统GNSS控制网的优化设计

Design and Precision Analysis of the GNSS Control Network of the BeiDou Satellite Launch Site

全球定位系统. 2017, 42(3): 66–69

GNSS精密控制网在特大型桥梁施工监测中的应用——以虎门二桥为例

Application of GNSS precision control network in super large bridge construction monitoring: a case of the second Humen bridge

全球定位系统. 2019, 44(5): 106–110

不同法截面子午线椭球衔接的研究及应用

Research and application of the connection based on ellipsoid with different normal section as the central meridian

全球定位系统. 2020, 45(1): 88–92

一种基于局部激光高速节点骨干网络的星间链路拓扑规划与仿真优化方法

A method of topology planning and simulation optimization of inter-satellite[JP]link(ISL) based on local laser high-speed node backbone network

全球定位系统. 2020, 45(6): 10–15



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.12265/j.gnss.2021080901

高速铁路平面控制网更新方法的研究与应用

袁达

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘 要: 针对运营期高速铁路基础平面控制网 (CPI) 存在连续多个点位更新, 造成高铁线上加密 CPII 也随之大量更新的问题, 提出了一种基于稳定的 CPI、加密线路平面控制网 (CPII) 为约束点更新 CPI 点问题的新方法. 工程应用表明提出的新方法在更新补设的 CPI 点能更好的与运营期高铁现状相符, 并能降低高铁线路上加密 CPII 的更新率. 通过与传统方法进行比对, 结果表明: 提出的新方法在计算加密 CPII 时更新率时降低了 7.3%, 验证了该算法在运营高铁加密 CPII 更新计算时具有较大的应用价值.

关键词: 运营期; 高速铁路; 基础平面控制网 (CPI); 加密线路平面控制网 (CPII); 内插更新

中图分类号: P258

文献标志码: A

文章编号: 1008-9268(2022)01-0080-06

0 引 言

随着国民经济的不断发展, 高速铁路在人民生活中的作用越来越大. 为了维护高速铁路的正常运行, 需要对运营期的高速铁路进行监测^[1]. 高速铁路在运营维护中需要做到“三网合一”, 《高速铁路工程测量规范》(下文简称“规范”) 要求基础平面控制网 (CPI) 平差时应该利用框架控制网 (CP0) 作为起算点, 且线路平面控制网 (CPII) 平差时应该将 CPI 作为起算点; 对于补埋和超限点需要利用同精度内插扩展计算成果^[2]. 一般来说, CPI 沿着铁路线布设, 大部分 CPI 布设在交通比较便利的路边及田埂附近. 随着道路的扩宽、耕地的变化等, 导致大量 CPI 被破坏; 尤其是经济发达的地区, CPI 连续丢失情况更为严重, 这就需要对 CPI 进行补设. CPII 分为线下 CPII 和线上加密 CPII, 铁路运营期复测一般仅测量线上加密 CPII 进行复测. 线上加密 CPII 布设在高铁路线上, 大部分保存比较完整, 且不易丢失.

目前高速铁路平面控制网 CPI 更新主要是选取稳定的 CPI 更新不稳定的 CPI 和补设的 CPI, 未考虑到当连续多个 CPI 点不稳定或者丢失后, 仍采用既有方案更新 CPI 存在的与运营期铁路限制不相符的现象. 考虑到高速铁路平面控制网数据的更新计算是为

了高速铁路运营维护提供依据, 本文提出了一种新的更新方法.

1 高速铁路平面控制网数据处理要求

随着 GPS 观测技术的发展和定位精度的不断提高^[3-4], CPI、加密 CPII 大多采用 GPS 静态测量方法施测^[5], 控制网在 2000 国家大地坐标系 (CGCS2000) 椭球下计算^[6]. CPI 网复测按二等^[7] 指标测量, 加密 CPII 按三等^[7] 指标进行测量, 具体要求如表 1 所示.

表 1 CPI 和 CPII 测量指标

等级	基线边方位角中误差	约束平差后最弱边边长相对中误差
二等	1.3"	1/180 000
三等	1.7"	1/100 000

2 运营期 CPI、加密 CPII 网复测更新原则

复测过程中相邻 CPI 控制点之间坐标差之差的相对精度小于 1/130 000, CPI 控制点复测值与原测值较差的限差为 ± 20 mm, 加密 CPII 控制点小于 1/80 000, 加密 CPII 控制点复测值与原测值较差的限差为 ± 15 mm. 此时, 认为加密 CPII 控制点精度满足

收稿日期: 2021-08-09

资助项目: 国家自然科学基金项目 (42061077, 41904171); 江西省教育厅科学技术研究项目 (GJJ200639, GJJ171293); 江西省水工安全工程技术研究中心开放研究基金 (2020GGCZX04).

通信作者: 袁达 E-mail: 1109226965@qq.com

规范要求,该点本次复测时是稳定可靠的,采用原测成果。

3 运营期 CPI 加密 CPII 平面控制更新方法及工程应用

3.1 传统的 CPI、加密 CPII 网复测更新方法

首先,在 CPI 更新计算方面,根据《高速铁路工程测量规范》的要求对 CPI 进行初步计算,当计算的 CPI 控制点之间坐标差之差的相对精度小于 $1/130\,000$,且复测值与原测值较差的小于 $\pm 20\text{ mm}$,可认为该点稳定。通过分析计算选取稳定的 CPI,利用稳定的 CPI 同精度内插^[8]更新不稳定和补埋 CPI,将稳定的 CPI 和更新的 CPI 作为最终成果。

其次,在进行加密 CPII 更新计算时,利用最新的 CPI 成果做起算点,初步计算线上加密 CPII 成果。当计算的加密 CPII 控制点之间坐标差之差的相对精度小于 $1/80\,000$,CPII 控制点复测值与原测值较差小于 $\pm 15\text{ mm}$ 时,可认为该点稳定。通过分析计算选取稳定的加密 CPII,利用稳定的加密 CPII 和 CPI 内插更新不稳定和补埋 CPII,将稳定的 CPII 和更新的 CPII 作为最终成果。

上述 CPI、CPII 更新方法比较适用于 CPI 点,破坏较少或者不存在连续多个 CPI 破坏的情况。运营期 CPI 测量时间间隔较长一般在 $3\sim 5\text{ a}$,这段时间由于道路施工或者耕地的变化可能造成 CPI 连续破坏,规范要求 CPI 的间距一般在 4 km 左右,当连续多个 CPI 丢失或者点位变化时,CPI 间距可能达到 20 km 及以上,这种情况下,仅利用 CPI 进行内插更新可能造成更新成果与实际发生一定的偏离。

3.2 基于高铁线上稳定 CPI、加密 CPII 共同约束的新方法

针对传统的 CPI、加密 CPII 网复测更新方法存在的当连续多个 CPI 丢失或者点位变化时,仅利用 CPI 进行内插更新可能造成更新成果与实际发生偏离问题,本文提出了一种新的更新策略,原理如下:

1) CPI 更新计算

根据规范要求对 CPI 进行初步计算,当计算的 CPI 控制点之间坐标差之差的相对精度小于 $1/130\,000$,且复测值与原测值较差小于 $\pm 20\text{ mm}$,可认为该点稳定。通过分析计算选取稳定的 CPI,利用稳定的 CPI 同精度内插更新不稳定和补埋 CPI,将稳定的 CPI

和更新的 CPI 作为初步更新成果。

利用初步更新的 CPI 成果初步计算线上加密 CPII,当计算的加密 CPII 控制点之间坐标差之差的相对精度小于 $1/80\,000$,CPII 控制点复测值与原测值较差的小于 $\pm 15\text{ mm}$ 时,可认为该点稳定,通过分析计算选取稳定的 CPII。

将稳定的加密 CPII 与稳定的 CPI 点作为 CPI 内插更新的起算点,计算得到该区段中所有的补埋点和更新点 CPI 的最终成果。

2) 加密 CPII 更新计算

利用新算法计算的 CPI 成果初步计算加密 CPII 成果,当计算的 CPII 控制点之间坐标差之差的相对精度小于 $1/80\,000$,且 CPII 控制点复测值与原测值较差小于 $\pm 15\text{ mm}$ 时,可认为该点稳定。通过分析计算选取稳定的加密 CPII,利用稳定的加密 CPII 和 CPI 更新不稳定和补埋 CPII,将稳定的 CPII 和更新的 CPII 作为最终成果。

该算法能有效地提高更新超限 CPI 和补埋 CPI 计算成果的精度,利用该算法计算加密 CPII 时,降低 CPII 的更新率,尤其在 CPI 连续丢失的段落效果比较明显。

3.3 工程实例应用分析

为了验证本文提出的基于高铁线上稳定加密 CPII、CPI 联合约束的新方法的可行性,以某铁路在进行运营期精测网复测为例进行工程应用分析。本铁路工程选取了 50 km 线路上的控制点数据进行分析,具体包含 15 个 CPI,68 个加密 CPII,其中 CPI 连续补埋点有 4 个,图 1 给出了所选线路的 CPI 点位分布示意图。



图1 CPI 点位示意图

3.3.1 传统 CPI 和加密 CPII 更新方法

对 CPI 进行整网平差计算,有 CPI007、CPI012 两点由于坐标较差绝对值超限需要更新,坐标比较表如表 2 所示,内插更新点成果表如表 3 所示,有 CPI008、CPI009、CPI010、CPI011 4 个点是新设点也需要更新成果,表 4 为整网计算成果与内插成果比较。

表 2 CPI 整网计算成果比较表

序号	点号	2016年原测成果/m		2020年整网成果/m		较差/mm	
		<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	Δx	Δy
1	CPI007	※※※.909 8	※※※.012 5	※※※.930 1	※※※.003 7	20.3	-8.8
2	CPI012	※※※.758 1	※※※.245 9	※※※.767 5	※※※.224 4	9.4	-21.5

表 3 CPI 内插更新点成果比较表

序号	点号	2016年原测成果/m		2020年内插成果(传统方法) /m		较差/ mm	
		<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	Δx	Δy
1	CPI007	※※※.909 8	※※※.012 5	※※※.925 0	※※※.005 0	15.2	-7.5
2	CPI012	※※※.758 1	※※※.245 9	※※※.766 1	※※※.229 7	8.0	-16.2

表 4 CPI 补埋点成果比较

序号	点号	2020年整网成果/m		2020年内插成果(传统方法) /m		较差/ mm	
		<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	Δx	Δy
1	CPI008	※※※.858 7	※※※.032 0	※※※.865 9	※※※.032 5	7.2	0.5
2	CPI009	※※※.034 3	※※※.810 5	※※※.041 0	※※※.813 3	6.7	2.8
3	CPI010	※※※.669 3	※※※.415 8	※※※.676 6	※※※.414 6	7.3	-1.2
4	CPI011	※※※.759 5	※※※.235 6	※※※.767 5	※※※.232 1	8.0	-3.5

利用传统方法内插更新后的 CPI 计算加密 CPII, 加密 CPII 较差的绝对值超限点有 8 个占本段全部 CPII 的 11.7%, 加密 CPII 成果比较表如表 5 所示, 坐标差

之差的相对精度超限的点共有 9 处, 这 9 处均与超限点有关.

表 5 加密 CPII 成果比较表

序号	点号	2016年原测成果/m		2020年整网成果/m		较差/mm	
		<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	Δx	Δy
1	CPII026	※※※.281 4	※※※.726 0	※※※.309 4	※※※.716 7	28.0	-9.3
2	CPII027	※※※.164 1	※※※.011 5	※※※.179 8	※※※.000 9	15.7	-10.6
3	CPII031	※※※.021 0	※※※.703 6	※※※.037 0	※※※.702 5	16.0	-1.1
4	CPII033	※※※.119 8	※※※.127 5	※※※.136 3	※※※.131 0	16.5	3.5
5	CPII035	※※※.769 7	※※※.855 7	※※※.779 7	※※※.872 2	10.0	16.5
6	CPII038	※※※.936 3	※※※.202 4	※※※.936 7	※※※.218 0	0.4	15.6
7	CPII042	※※※.465 7	※※※.677 2	※※※.483 1	※※※.671 4	17.4	-5.8
8	CPII047	※※※.020 7	※※※.099 2	※※※.020 4	※※※.117 5	-0.3	18.3

3.3.2 基于稳定的加密 CPII、CPI 联合约束的新方法
新算法与传统算法主要不同之处在 CPI 的内插更新计算方面. 改进算法在内插更新 CPI 时按照 4 km 的

间距选取了部分稳定的加密 CPII 与稳定的 CPI 同时作为内插计算的约束点, 表 6 为改进算法 CPI 内插更新点成果比较, 表 7 为整网成果与改进算法内插成果比较.

表 6 改进算法 CPI 内插更新点成果比较表

序号	点号	2016年原测成果/m		2020年内插成果(改进方法) /m		较差/mm	
		X	Y	X	Y	Δx	Δy
1	CPI007	※※※.909 8	※※※.012 5	※※※.919 9	※※※.008 0	10.1	-4.5
2	CPI012	※※※.758 1	※※※.245 9	※※※.761 3	※※※.236 7	3.2	-9.2

表 7 改进算法 CPI 补埋点成果比较

序号	点号	2020年整网成果/m		2020年内插成果(改进方法) /m		较差/mm	
		X	Y	X	Y	Δx	Δy
1	CPI008	※※※.858 7	※※※.032 0	※※※.872 5	※※※.037 5	13.8	5.5
2	CPI009	※※※.034 3	※※※.810 5	※※※.047 0	※※※.813 2	12.7	2.7
3	CPI010	※※※.669 3	※※※.415 8	※※※.679 8	※※※.411 0	10.5	-4.8
4	CPI011	※※※.759 5	※※※.235 6	※※※.767 2	※※※.247 0	7.7	11.4

利用改进方法内插更新后的 CPI 计算加密 CPII, 加密 CPII 较差的绝对值超限点有 3 个占本段全部加密 CPII 的 4.4%, 坐标差之差的相对精度超限的点共

有 2 处, 加密 CPII 成果比较如表 8 所示, 其中 2 处均与超限点有关, 与传统方法相比加密 CPII 更新率降低了 7.3%, 更新点数减少了 5 个.

表 8 加密 CPII 成果比较表

序号	点号	2016年原测成果/m		2020年整网成果/m		较差/mm	
		X	Y	X	Y	Δx	Δy
1	CPII026	※※※.281 4	※※※.726 0	※※※.305 2	※※※.727 7	23.7	1.7
2	CPII027	※※※.164 1	※※※.011 5	※※※.172 6	※※※.009 9	8.5	-1.7
3	CPII031	※※※.021 0	※※※.703 6	※※※.026 7	※※※.705 7	5.7	2.1
4	CPII033	※※※.119 8	※※※.127 5	※※※.123 4	※※※.132 7	3.6	5.2
5	CPII035	※※※.769 7	※※※.855 7	※※※.768 4	※※※.864 1	-1.3	8.4
6	CPII038	※※※.936 3	※※※.202 4	※※※.925 9	※※※.208 5	-10.4	6.1
7	CPII042	※※※.465 7	※※※.677 2	※※※.481 3	※※※.675 0	15.6	-2.3
8	CPII047	※※※.020 7	※※※.099 2	※※※.014 2	※※※.116 4	-6.5	17.1

3.3.3 两种计算方法结果比较

CPI 数据更新比较结果如表 9 所示.

由表 9 可知, 改进方法与传统方法相比, 计算成

果较差在 X 方向最大值为 6.6 mm, 最小值为-0.3 mm, 在 Y 方向最大值为 14.9 m, 最小值为-0.1 mm.

加密 CPII 数据比较结果如表 10 所示.

表 9 CPI 成果比较表

序号	点号	2020年内插成果(传统方法)/m		2020年内插成果(改进方法)/m		较差/mm	
		X	Y	X	Y	Δx	Δy
1	CPI007	※※※.925 0	※※※.005 0	※※※.919 9	※※※.008 0	-5.1	3.0
2	CPI008	※※※.865 9	※※※.032 5	※※※.872 5	※※※.037 5	6.6	5.0
3	CPI009	※※※.041 0	※※※.813 3	※※※.047 0	※※※.813 2	6.0	-0.1
4	CPI010	※※※.676 6	※※※.414 6	※※※.679 8	※※※.411 0	3.2	-3.6
5	CPI011	※※※.767 5	※※※.232 1	※※※.767 2	※※※.247 0	-0.3	14.9
6	CPI012	※※※.766 1	※※※.229 7	※※※.761 3	※※※.236 7	-4.8	7.0

表 10 加密 CPII 成果比较表

序号	点号	2020年整网成果(传统方法)/m		2020年整网成果(改进方法)/m		较差/mm	
		X	Y	X	Y	Δx	Δy
1	CPII026	※※※.309 4	※※※.716 7	※※※.305 2	※※※.727 7	-4.2	11.0
2	CPII027	※※※.179 8	※※※.000 9	※※※.172 6	※※※.009 9	-7.2	9.0
3	CPII031	※※※.037 0	※※※.702 5	※※※.026 7	※※※.705 7	-10.3	3.2
4	CPII033	※※※.136 3	※※※.131 0	※※※.123 4	※※※.132 7	-12.9	1.7
5	CPII035	※※※.779 7	※※※.872 2	※※※.768 4	※※※.864 1	-11.3	-8.1
6	CPII038	※※※.936 7	※※※.218 0	※※※.925 9	※※※.208 5	-10.8	-9.5
7	CPII042	※※※.483 1	※※※.671 4	※※※.481 3	※※※.675 0	-1.8	3.6
8	CPII047	※※※.020 4	※※※.117 5	※※※.014 2	※※※.116 4	-6.2	-1.1

由表 10 可知,传统方法计算的加密 CPII 整网成果与改进方法计算的加密 CPII 整网成果在 X 方向上较差最大值为-12.9 mm,最小值为-1.8 mm,在 Y 方向上较差最大值为 11 mm,最小值为-1.1 mm。

综上所述,当 CPI 连续丢失多个时,利用传统方法更新得到的 CPI 去约束计算线上加密 CPII 与原测结果偏差较大,更新点数较多。利用改进的方法计算 CPI 后约束计算加密 CPII 与原测成果更相符。由此可知,当 CPI 连续多个丢失时,改进算法可最大程度降低加密 CPII 的更新量,该算法在工程实践中有一定的指导意义。

4 结束语

基础平面控制网 CPI 是运营期高速铁路加密 CPII 起算的基准,CPI 点计算成果的准确性直接影响到加密 CPII 的更新情况,本文提出的基于稳定的 CPI、加密 CPII 为约束点更新问题 CPI 点的新方法能尽可能避免因约束点间距过大造成更新成果与运营期现状不相符的影响。利用该算法计算的数据,能更好的指导高速铁路进行运营维护。

参考文献

- [1] 张冠军,张志刚.高速铁路运营监测内容与方法研究[C]//第十三届中国科协年会-测绘服务灾害与应急管理学术研讨会,2011.
- [2] 杨昊.无砟轨道运营阶段CPⅢ控制网复测方法优化研究与应用[D].大连:大连交通大学,2015.
- [3] 贺小星.GPS台站时间序列分析及其地壳形变应用[D].南昌:东华理工大学,2013.
- [4] 贺小星,花向红,周世健,等.PCA与KLE相结合的区域GPS网坐标序列分析[J].测绘科学,2014,39(7): 113-117,97.
- [5] 贺小星,周世健.某城区D级GPS静态控制网设计与实施[J].江西科学,2012,30(3): 295-298,318.
- [6] 马下平.大型精密工程GPS控制网数据处理及投影变形研究[D].成都:西南交通大学,2011.
- [7] 中华人民共和国铁道部.高速铁路工程测量规范:TB10601-2009[S].北京:中国铁道出版社,2010.
- [8] 宣伟,花向红,邹进贵,等.成贵高铁控制网复测数据处理与稳定性分析[J].测绘地理信息,2016,41(2): 77-80.

作者简介

袁达 (1989—),男,硕士,工程师,主要研究方向为工程测量,三维激光扫描。

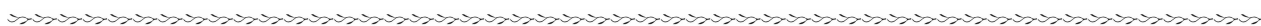
Research and application of renewal method of high speed railway horizontal control network

YUAN Da

(*China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China*)

Abstract: According to the problem that the basic horizontal control network (CPI) of high-speed railway is updated continuously at multiple points during the operation period, resulting in a large number of updates of encrypted route horizontal control network (CPII) on high-speed railway line, a new method of updating CPI points based on stable CPI and encrypted CPII as constraint points is proposed. The engineering application shows that the proposed new method can better match the current situation of high-speed railway in the operation period, and reduce the renewal rate of encrypted CPII on the high-speed railway line; compared with the traditional methods, the results show that the update rate of the proposed new method is reduced by 7.3%, which verifies that the algorithm has great application value in the update calculation of encrypted CPII of high-speed railway.

Keywords: operation period; high speed railway; basic horizontal control network (CPI); encryption route horizontal control network (CPII); interpolation update



(上接第 42 页)

algorithm. First of all, the algorithm is based on the extended Kalman filter (EKF), fusing the UWB global positioning coordinates and the visual SLAM displacement increment. Then considering that the measurement noise is easily affected by the complex environment, threshold detection and adaptive measurement noise estimator are introduced to suppress the influence of abnormal values and time-varying measurement noise on the performance of the filter. Finally, an intelligent mobile car is used to conduct experiments in different indoor venues. Experiments show that the algorithm is better than a single UWB or visual SLAM positioning method, and has a more stable positioning effect than the traditional extended Kalman algorithm in a complex indoor environment.

Keywords: fusion positioning; ultra wideband (UWB); visual simultaneous localization and mapping (SLAM); extended Kalman filter (EKF); measurement noise estimation