

DOI: 10.7672/sjgs2022180001

# 全预制装配式刚构桥一体化架设关键技术\*

王敏<sup>1,2,3,4</sup>,袁超<sup>1,2,3,4</sup>,肖浩<sup>1,2,3,4</sup>,田飞<sup>1,2,3,4</sup>

(1.中交第二航务工程局有限公司,湖北 武汉 430040;

2.长大桥梁建设施工技术交通行业重点实验室,湖北 武汉 430040;

3.交通运输行业交通基础设施智能制造技术研发中心,湖北 武汉 430040;

4.中交公路长大桥梁建设国家工程研究中心有限公司,湖北 武汉 430040)

[摘要] 以某高速公路改扩建工程为背景,提出了一套全预制装配式刚构桥一体化架设快速施工工艺,解决了常规一体化架桥机工效不匹配及传统悬拼工艺工期长的问题,实现了高度城镇化地区该类型桥梁的快速施工。该工艺采用新型一体化架桥机同步安装预制节段梁、墩顶块和预制墩身,且中墩节段梁采用常规悬臂拼装,过渡墩节段梁通过将墩顶块临时固定和布置临时预应力束,将传统边跨半跨悬挂优化为悬臂拼装,从而使得安装工效由39.5d/联提高至32d/联,有效缩短了安装工期,同时降低了对交通、环境的影响。

[关键词] 桥梁工程;刚构桥;装配式桥梁;架桥机;一体化;全悬臂拼装;施工技术

[中图分类号] U445.46

[文献标识码] A

[文章编号] 2097-0897(2022)18-0001-05

## Key Technology of Integrated Construction of Fully Prefabricated Rigid Frame Bridge

WANG Min<sup>1,2,3,4</sup>, YUAN Chao<sup>1,2,3,4</sup>, XIAO Hao<sup>1,2,3,4</sup>, TIAN Fei<sup>1,2,3,4</sup>

(1. CCCC Second Harbor Engineering Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430040, China; 2. Key Laboratory of Large-span

Bridge Construction Technology, Wuhan, Hubei 430040, China; 3. Research and Development Center of Transport

Industry of Intelligent Manufacturing Technologies of Transport Infrastructure, Wuhan, Hubei 430040, China;

4. CCCC Highway Bridges National Engineering Research Centre Co., Ltd., Wuhan, Hubei 430040, China)

**Abstract:** Based on the reconstruction and expansion project of an expressway, a new integrated construction method of fully prefabricated rigid frame bridge is proposed, which solves the problem of the mismatch of work efficiency of every working face in the conventional integrated bridge erecting machine and the problem of long construction period in the traditional process. This method realizes the rapid construction of this type of bridge in highly urbanized areas. In this process, the new integrated bridge erecting machine is used to synchronously install precast segmental beam, pier top block and pier column. At the same time, precast segmental beams near the middle pier are installed by the conventional cantilever assembly method, and the installation method of the precast segmental beams near the transition pier is optimized from the half span suspension assembly method to the cantilever assembly method by temporarily fixing the pier top block and arranging temporary prestressed tendons. This new integrated construction method improves the construction efficiency from 39.5d/unit to 32d/unit, and reduces the interference to traffic and environment.

**Keywords:** bridges; rigid frame bridges; assembled bridges; bridge erecting machines; integration; full cantilever assembly; construction

\* 国家重点研发计划:桥梁建造机器人的智能控制理论与方法(2021YFF0500904)

[作者简介] 王敏,硕士,正高级工程师,E-mail:4713810@qq.com

[通信作者] 袁超,硕士,助理工程师,E-mail:415511610@qq.com

[收稿日期] 2021-12-15

## 0 引言

上海嘉闵高架及S7公路工程、成都成彭高架、长沙湘府路、无锡凤翔路快速化改造等项目均实现了桥墩、盖梁及主梁的全预制装配化<sup>[1-5]</sup>。

在目前已应用的装配式桥梁项目中,预制桥墩及盖梁多采用履带式起重机安装,该工艺存在工作面零散、施工临时占地面积大、桥下交通干扰大的缺陷,不能充分发挥装配式桥梁的优势。为此,一体化安装工艺及装备在国内外装配式桥梁项目中开始推广应用<sup>[6-7]</sup>。哥伦比亚卡塔赫纳的沿海高架在跨越环境保护区时,为减少对环境干扰,采用从桩基到主梁的全预制装配式桥梁结构,并采用悬臂式一体化架桥机安装所有预制构件,实现了全预制装配式桥梁的一体化流水安装,且项目沿线无须设置便道,实现了施工期对环境的零干扰。随后,美国华盛顿高架采用了相同的结构形式与施工工艺。在国内,深圳盐港东立交为减小施工过程中对周边道路交通的干扰,采用一种新型落地前支腿式一体化架桥机架设混凝土节段梁与预制墩柱,预制构件从已成桥梁运输至架桥机尾部,施工临时占地面积少,且交通恢复快速<sup>[8]</sup>。

一体化架设工艺将不同类型预制构件分配到一体化架桥机的各作业面进行安装,各作业面安装工效相匹配,从而实现一体化工艺流水作业。然而,对于墩梁固结刚构桥,墩柱安装及墩梁固结工序所需时间较长(共 10d),低于主梁安装工效,因此,采用常规的一体化架桥机难以实现各作业面的工效匹配。

针对上述问题,以某高速公路改扩建工程为背景,对常规一体化架桥机进行改进,提出一种基于双落地前支腿式一体化架桥机的刚构桥快速施工工艺,实现装配式刚构桥的一体化流水施工。并通过将节段梁常规悬臂拼装优化为全悬臂拼装工艺,进一步提升了一体化安装工效。

## 1 工程概况

某高速公路改扩建项目主体桥梁采用全刚构体系,即中墩和分联处过渡墩均采用墩梁固结无支座体系,一联桥跨径布置为(45+2×50+45)m,如图 1 所示。



图 1 (45+2×50+45)m 四跨一联全刚构桥型布置

该桥梁为全预制装配式结构,上部结构采用单箱双室节段预制箱梁,桥面宽 20m,如图 2 所示,施工时采用悬臂拼装;下部结构中墩及过渡墩均采用预制曲线柱式墩,顺桥向中墩为曲线单柱式墩,过渡墩为曲线双柱式墩,如图 3,4 所示。

该项目大部分地段处于丘陵及水源保护区,桥下运输预制构件及喂梁困难,为此,预制构件需在

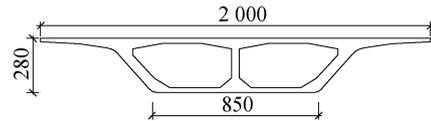


图 2 节段预制箱梁截面形式

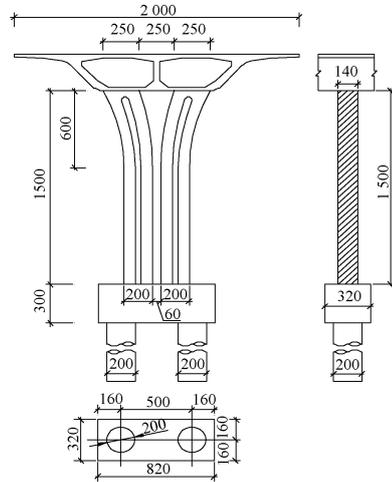


图 3 中墩构造示意

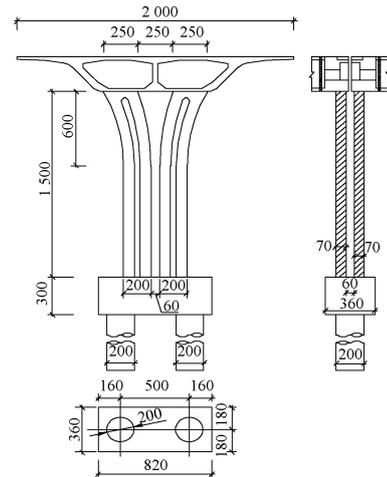


图 4 双柱式过渡墩构造示意

桥面运输并从架桥机尾部喂梁。结合依托项目建设条件及结构特点,一体化架设是实现本项目快速建造的合理工艺。

## 2 快速一体化架设工艺

### 2.1 新型一体化架桥机

常规一体化架桥机包含 3 跨,前跨用于安装墩身和墩顶块,中跨用于安装主梁,尾跨用于起吊构件,如图 5 所示。一体化架桥机各作业面的安装工效匹配,从而实现一体化工艺流水作业。然而,对于墩梁固结的装配式刚构桥,墩柱安装需 3d,墩梁固结工序需 7d,两者共需 10d,低于主梁安装工效(7d),因此,采用常规的一体化架桥机难以实现前跨和中跨作业面的工效匹配,进而影响一体化施工效率。

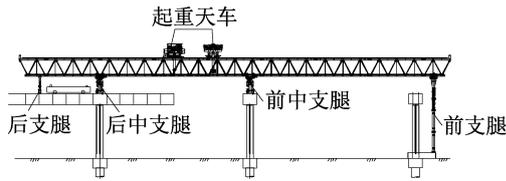


图5 常规一体化架桥机示意

为解决上述问题,考虑将墩身安装与墩顶块安装的作业面分离,提出一种双落地前支腿一体化架桥机,如图6所示。架桥机主梁采用双三角桁架结构,从左往右依次为构件起吊段、主梁安装段、墩顶块安装段及墩身安装段。支腿结构由前1支腿、前2支腿、中1支腿、中2支腿、后支腿组成,架设墩柱及节段梁时,前支腿支承在牛腿上,牛腿结构临时锚固于承台。前支腿装有液压插销系统,可调整高度和折叠;前、后起重天车均可360°旋转,前主天车负责墩身、墩顶块拼装,后主天车负责主梁拼装。

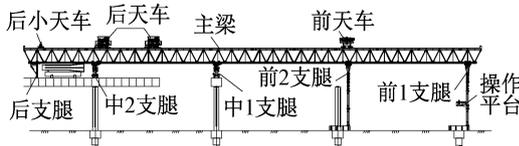


图6 新型一体化架桥机构造

相较于传统一体化架桥机,新型架桥机支撑结构增加了1条前支腿,多出的1跨架设长度用于架设前一跨墩身,从而实现墩身安装与墩顶块安装作业面分离,进而解决工效不匹配问题。

### 2.2 过渡墩 T 构悬臂拼装

在对刚构桥的主梁进行架设时,中墩节段梁一般采用悬臂拼装,而过渡墩节段梁则通常采用半跨悬挂拼装,即在中墩 T 构完成后,过渡墩边跨的半跨采用整体悬挂拼装,而后张拉预应力后成桥,如图7所示。该工法是目前国内平衡悬臂施工中应用最广泛、最成熟的施工工法<sup>[9-10]</sup>。然而,过渡墩边跨采用半跨悬挂拼装会使施工工期显著增加,同时该方法对架桥机吊重有较高要求。

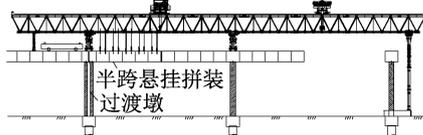


图7 过渡墩处边跨的半跨采用整体悬挂拼装示意

为进一步提升节段梁悬臂拼装工效,提出一种实现过渡墩节段梁悬臂拼装的全悬臂施工方法:将墩顶块临时固定,通过布置临时预应力束形成悬臂拼装边跨,如图8所示;当边跨合龙且永久预应力张拉完成后,拆除临时预应力和临时固结,完成体系

转换。该施工方法可实现刚构桥的全悬臂施工,将有效缩短施工工期。

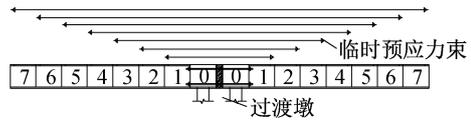


图8 过渡墩 T 构形成示意

### 2.2.1 过渡墩 T 构临时固定构造措施

为使过渡墩节段梁形成 T 构进而采用悬臂拼装施工方法,需对过渡墩墩顶块进行临时固定。过渡墩墩顶块采用整节段预制壳体结构,该墩顶块仅一部分与墩顶固结,另一部分悬出墩顶并支承于过渡墩墩顶安装的托架上。过渡墩交接缝内需设置垫块,为便于日后拆除,可在交接缝内填塞符合强度要求的硬木块或钢板;同时,为使墩顶块安装完成后交接缝处有一定的压应力储备,应在过渡墩横隔板处张拉精轧螺纹钢,临时固定构造如图9所示。

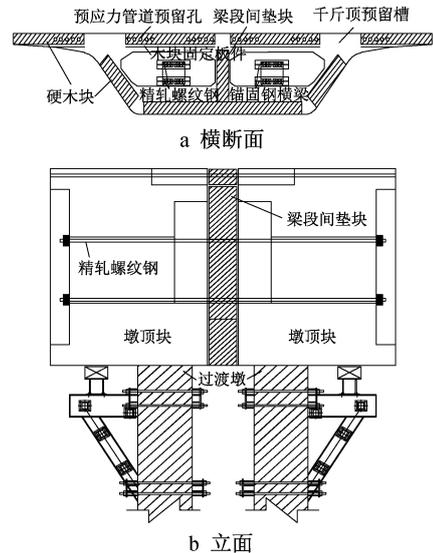


图9 过渡墩墩顶块临时锚固措施

### 2.2.2 过渡墩 T 构临时预应力构造

1) 顶板开槽式 临时悬拼体内预应力束可采用直线式配束,即在顶板厚度范围内按规范配置临时预应力筋,并在节段梁预制时预留临时预应力管道,同时在顶板后端一定长度范围内设置预留槽,以留出临时预应力束锚固的空间,并方便后续放张拆除临时预应力束。由于预应力束张拉后伸长量为30cm,为方便连接器接长和放张,预留槽的纵向尺寸应大于放张预应力束的长度,因此宜预留50cm以上长度,构造及流程如图10所示。

2) 齿块式 临时悬拼体内预应力束的锚固端也可采用齿块构造,如图11所示。此时张拉及拆除作业设于箱室内部,其临时构造在一定程度上加大

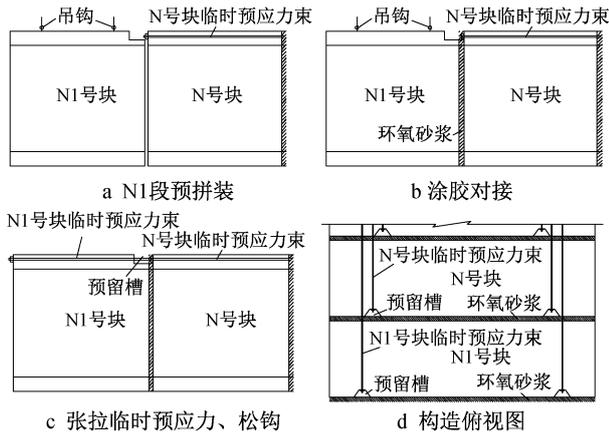


图 10 顶板开槽式临时预应力锚固示意

了节段梁结构自重。

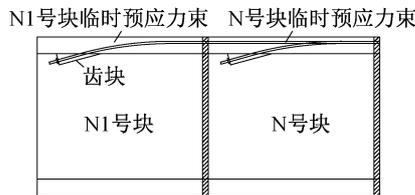


图 11 齿块式临时预应力锚固示意

考虑到临时预应力筋采用齿块式构造时,预制构件需增设锚块钢筋、搭设锚块模板,使得工序增加,而采用顶板开槽式构造则无须再增加临时锚固齿块,临时预应力筋可直接在顶板处进行张拉,此时施工效率较高,因此过渡墩 T 构的临时预应力筋采用顶板开槽式构造。

### 2.3 基于新型一体化架桥机的快速一体化架设工艺

基于前述讨论,依托背景工程,提出了一种基于双落地前支腿一体化架桥机的刚构桥全悬臂拼装快速一体化架设工艺,总体流程如下。

1) 由 2 台起重天车将已临时存于 N1 号墩承台处的 N3 号预制墩身抬吊至最前跨,完成墩柱翻身并安装到位,开始墩柱与承台灌浆连接。

2) 前 2 台天车安装 N3 号墩身并进行墩身与承台灌浆连接的同时,后主天车起吊已临时存于 N1 号墩承台处的 N2 号墩顶块,安装 N2 号墩顶块,完成墩顶块调位后进行墩梁固结。

3) 在墩柱与承台及墩顶块与墩柱连接等强的同时,架桥机拼装 N1 号墩 T 构,节段梁采用对称拼装,并利用剪力锥进行梁段临时固定,而后张拉永久束,拆除剪力锥临时束,架桥机松钩。

4) 按上一步骤对称施工 N1 号墩 T 构至最大悬臂位置,而后进行 N 号墩和 N1 号墩 T 构悬臂合龙,浇筑湿接缝并养护,待强度达标后张拉永久束,完

成 N1 号墩 T 构施工,而后拆除 N 号过渡墩 T 构的临时束及解除两墩顶块间的临时固定措施。

5) 将中 2 支腿吊装移动到 N2 号墩顶块上,后中支腿前移至 N 号过渡墩墩顶块上,前 2 支腿前移到承台牛腿上,并与前 1 支腿临时连接,而后从架桥机尾部完成 N3 号墩顶块和 N4 号墩身的运输起吊,并将其临时存放在 N2 号墩承台处,最后前移架桥机主梁和后支腿,再将前 1 支腿前移至 N4 号墩承台牛腿上,前 2 支腿折叠收起,前移跨过 N3 号墩,并支承于 N3 号墩承台牛腿上,最终完成架桥机过跨。

6) 重复步骤 1)~5),直至完成 N4 号过渡墩 T 构施工后即完成 N~N4 号一联桥施工(中墩墩顶块无须进行临时固定措施施工)。

上述安装工艺总体流程如图 12 所示。

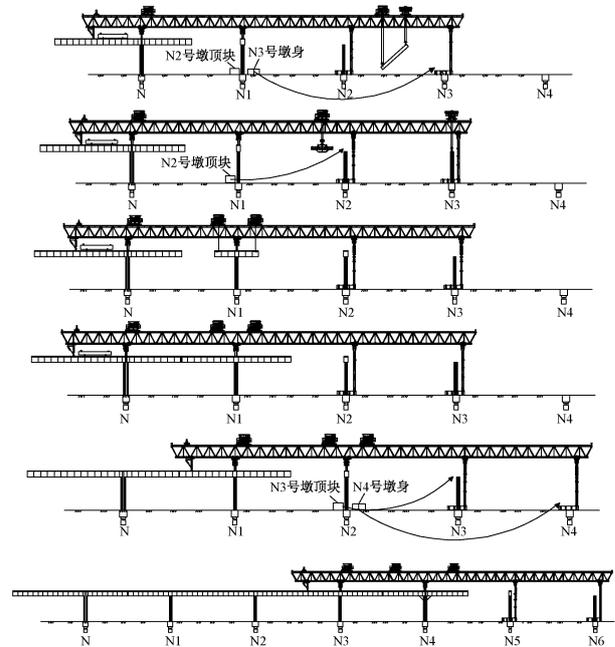


图 12 快速一体化安装工艺总体流程示意

### 3 工效对比分析

以背景工程四跨一联装配式刚构桥为对象,一个主梁 T 构一侧划分为 7 个节段,分别采用 3 种施工方案:①中墩悬臂拼装+过渡墩边跨半跨悬挂拼装+常规一体化架桥机;②中墩悬臂拼装+过渡墩边跨半跨悬挂拼装+新型一体化架桥机;③全悬臂拼装+新型一体化架桥机。分别对其进行施工工效分析,如表 1~3 所示,表中括号表示工序时间不占用关键路线。

由表 1~3 可看出:①新型一体化架桥机将墩身与墩顶块安装的作业面分离后,实现了下部结构与上部结构安装工效的匹配,并使墩身与墩顶块安装

**表 1 中墩悬臂拼装+过渡墩边跨半跨悬挂拼装+常规一体化架桥机方案施工工效分析**

序号	主要工序	持续时间/d	备注
1	N2 号墩柱安装及连接等强	3	—
2	N2 号墩顶块安装及连接等强	7	—
3	N1 号墩 T 构节段梁悬臂拼装	(7)	与 1 同步开始
4	N 号过渡墩边跨半跨悬挂施工	4(7)	紧接 3 后,占用关键路线 4d
5	架桥机过跨	0.5	—
6	T 构悬臂合龙,浇筑湿接缝并养护	(1)	与 5 同步开始
7	重复 1~3 及 5~6,继续完成 N2, N3 号中墩 T 构施工	—	—
8	重复 4~6,完成 N4 号过渡墩边跨半跨悬挂施工,即完成整联桥施工	—	—
	合计	14.5+10.5+14.5=39.5	—

**表 2 中墩悬臂拼装+过渡墩边跨半跨悬挂拼装+新型一体化架桥机方案施工工效分析**

序号	主要工序	持续时间/d	备注
1	N3 号墩柱安装及连接	0.5	—
2	N3 号墩柱连接等强	(2.5)	—
3	N2 号墩顶块安装及连接等强	7	与 2 同步开始
4	N1 号墩 T 构节段梁悬臂拼装	(7)	与 3 同步进行
5	N 号过渡墩边跨半跨悬挂施工	7	紧接 4 后
6	架桥机过跨	0.5	—
7	T 构悬臂合龙,浇筑湿接缝并养护	(1)	与 6 同步开始
8	重复 1~4 及 6~7,继续完成 N2, N3 号中墩 T 构施工	—	—
9	重复 4~6,完成 N4 号过渡墩边跨半跨悬挂施工,即完成整联桥施工	—	—
	合计	15+8+15=38	—

占用流水作业关键路线的时间由 10d 缩短至 7.5d,有效提高了施工效率;②当过渡墩节段梁采用边跨半跨悬挂拼装时,施工工期明显增加,并造成一体化工艺流水作业不连续,显著降低施工效率;③基于新型一体化架桥机并采用全悬臂拼装的一体化架设工艺,保证了一体化工艺流水作业的连续性,有效缩短了安装工期,安装工效由 39.5d/联提高至 32d/联。

#### 4 结语

1)目前常规的一体化架桥机不适用于全预制

**表 3 全悬臂拼装+新型一体化架桥机方案施工工效分析**

序号	主要工序	持续时间/d	备注
1	N3 号墩柱安装及连接	0.5	—
2	N3 号墩柱连接等强	(2.5)	—
3	N2 号墩顶块安装及连接等强	7	与 2 同步开始
4	N1 号墩 T 构节段梁悬臂拼装	(7)	与 3 同步进行
5	架桥机过跨	0.5	—
6	T 构悬臂合龙,浇筑湿接缝并养护	(1)	与 5 同步开始
7	按 1~6 步施工下一 T 构,直至 N4 号过渡墩 T 构施工后,即完成整联桥施工	—	—
	合计	4×8=32	—

刚构桥,由于下部结构及上部结构安装作业面工效不匹配,可能导致作业面出现窝工。

2)针对高度城镇化地区全预制刚构桥结构体系,提出了一种基于双落地前支腿一体化架桥机的装配式刚构桥快速施工工艺,实现了下部结构与上部结构安装工效的匹配,并使墩身与墩顶块安装占用流水作业关键路线的时间由 10d 缩短至 7.5d,有效提高了施工效率,且降低了施工期对周边环境、交通的干扰。

3)将过渡墩节段梁传统的边跨半跨悬挂拼装优化为悬臂拼装,提出了节段梁全悬臂拼装工艺,保证了一体化工艺流水作业的连续性,进一步提升了一体化安装效率,使得安装工效由 39.5d/联提高至 32d/联。

#### 参考文献:

- [1] 孙策.城市桥梁预制装配化绿色建筑技术应用与发展[J].世界桥梁,2021,49(1):39-44.
- [2] 杨文武,蔡俊德,柳欣荣,等.预制装配化桥梁技术发展及应用[J].广东公路交通,2019,45(5):67-73.
- [3] 张鹤.上海嘉闵高架工程预制立柱现场安装定位技术[J].中国市政工程,2016(4):59-61,104.
- [4] 张威振.长沙湘府路湘江大桥跨京广铁路联设计特点研究[J].公路,2016,61(3):77-81.
- [5] 杨炜,任才.预制装配式盖梁在无锡凤翔路高架桥中的应用[J].城市道桥与防洪,2019(11):121-124,16.
- [6] 张鸿,张永涛,王敏,等.装配式组合梁桥一体化架设方法及装备[J].中外公路,2018,38(6):140-143.
- [7] 陈建恒.装配式桥梁桩柱一体化施工工艺[J].西部交通科技,2020(11):151-153.
- [8] 崔超峰,吴伟才.预制装配式一体化架桥机施工技术[J].建筑机械,2020(11):96-98.
- [9] 罗成,周海坤,朱伟.悬臂桥梁施工工艺在桥梁施工中的应用[J].智能城市,2020,6(11):220-221.
- [10] 段振超,梁丰.文莱 PMB 大桥引桥节段梁拼装施工关键技术[J].西部特种设备,2020,3(1):48-52.