

# 采用 5M1E 分析法进行预应力桥梁施工质量管控

罗祖靠

(佛山市公路桥梁工程监测站有限公司, 广东 佛山 528041)

**摘要:** 通过对后张法预应力桥梁施工流程的分析, 结合佛山地区公路桥梁预应力检测实践, 验证推广锚下有效预应力检测的必要性; 通过对佛山地区公路桥梁预应力检测情况和现场预应力施工管理情况的分析, 采用 5M1E 分析法, 从“人、机、料、法、测、环”六方面制定标准化质量管控流程, 规范桥梁预应力张拉施工, 结合生产实例, 分析总结关键施工节点, 为规范化管理预应力施工提供依据。

**关键词:** 工程管理; 预应力桥梁; 锚下有效预应力; 5M1E 分析法; 质量管控

**中图分类号:** U415.1

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2018)04-0172-04

广东省采用锚下有效预应力法检测桥梁预应力施工质量正式始于 2014 年广东省交通运输工程质量监督站发布粤交监督[2014]126 号文件, 之后该方法在各地区得到推广。该方法的使用, 使桥梁预应力质量得到一定提高, 但亦暴露出其他更深的问题。为更规范化桥梁预应力质量管理, 提高桥梁预应力施工水平, 做到“预防为主, 科学分析, 及时纠正”, 该文采用 5M1E 分析法进行锚下有效预应力施工质量管控。

## 1 5M1E 分析法简述

5M1E 分析法是对人 (man)、设备 (machine)、材料 (material)、方法 (method)、检测 (measurement) 和环境 (environment) 6 个主要环节进行全面分析, 针对主要问题实行全面质量管理的过程, 由于 6 个环节的英文名称中 5 个环节的第一个字母是“M”, 1 个为“E”, 所以简称 5M1E。

采用 5M1E 分析法分析, 桥梁预应力施工的影响因素: 1) 人, 包括预应力张拉人员、管道安装人员, 现场技术人员、现场监理或总监, 第三方检测人员、项目技术人员、业主管理人员、设计代表, 行业监管部门人员。2) 设备 (机), 包括预应力张拉设备、预应力施工辅助设备、预应力检测设备。3) 材料 (料), 指关键原材料, 如波纹管、锚具夹片、钢绞线等。4) 方法 (法), 指关键环节的方式方法, 如管道定位和清理方法、预应力梁砼、预应力施工梳编穿束工艺及张拉控制关键点等。5) 检测 (测), 即锚下有效预应力检测方法。6) 环境 (环), 包括天气环境、施工作业环境和材料仓储环境。

## 2 桥梁预应力施工全面质量管理分析

### 2.1 人员培训和管理

(1) 人员培训。邀请锚下有效预应力专家为监督部门、业主单位、设计单位、监理单位、监控单位、施工单位及预应力施工队伍做专题讲座, 介绍预应力施工概况、重要性、案例及锚下有效应力的发展史, 通过系统的专题讲座, 使各方了解预应力施工的技术规范、施工程序、质量安全要求、设备操作等。

(2) 人员管理。人员是预应力施工的重要组成部分及施工质量的关键影响因素, 人员素质的高低直接影响预应力施工质量的优劣, 如何提高预应力施工就业人员的素质和稳定性是预应力施工管理的关键。预应力施工人员的素质来源于系统化的培训和现场预应力施工经验积累, 预应力施工人员应是熟练工人, 并经常参加专题讲座。建立预应力施工人员台账, 当出现预应力施工人员更换时, 所更换人员能力不得弱于原有人员, 且需经过培训方可上岗。

### 2.2 设备方面

设备不仅包含预应力张拉设备和灌浆密实度设备, 还包括施工中使用的必要辅助设备。为确保仪器设备的有效使用, 需督促和协助施工单位建立仪器设备管理制度、设备信息台账、检校及维修台账等, 并定期检查。预应力施工前, 可通过设备台账信息表先确认设备是否处于有效状态, 再核对现场设备标识信息和台账信息表中信息的一致性, 若信息不一致或设备处于非有效期, 应及时提醒并制止现行作业。

对于预应力张拉设备, 自动张拉设备需送有资

质的单位进行校验,应整机送检,校验满足要求方可使用;千斤顶系统标定期不超过半年或张拉不超过 300 次,仪器出现反常或千斤顶检修后也应标定。对于手动张拉设备,千斤顶和抗震压力表一一配套送检,合格后方可使用,修正公式也应配套修正;送检周期为半年或张拉 300 次。灌浆密实度设备的关键指标是转速和压力,需满足规范要求。

2.3 关键材料管控

关键原材料的管理包含原材料进场台账、检测台账、不合格台账的建立和管理。

关键原材料检测指标的把控:查缺补漏,确保所用关键材料合格;通过台账管理确保所使用原材料批次检测合格;通过检测报告监控,确保所使用原材料的关键性指标均进行了检测且合格(见表 1)。

表 1 关键原材料的检测控制

原材料	验收规范	关键指标	要求
钢绞线	GB/T 5224—2014	力学性能、弹性模量	进场后的存放时间不宜超过 6 个月,且宜存放在干燥、防潮、通风良好、无锈蚀气体和介质的仓库内
锚具(含夹片)	GB/T 14370—2007、 JT/T 329—2010	硬度、锚固静载(每种、配套钢绞线)	严格按厂家使用说明进行保养和使用前清洁;锚板硬度满足 JT/T 329—2010 下限要求;做好出入库台账
波纹管	塑料 JT/T 529—2016; 金属 JG 225—2007	尺寸、环刚度、抗冲击性能、抗弯曲	波纹管存放于干燥、通风、无腐蚀气体和介质的地方,不可直接堆放在地上,并加以覆盖,注意防雨、防晒;搬运时轻拿轻放,不得抛摔或拖拉,吊装不得以 1 根绳索拦腰捆绑起吊
灌浆材料	JTJ/T F50—2011	经时流动度损失、搅拌时间	存放防受潮,使用时方出库;搅拌时间直接影响塌落度损失和性能,必须严格控制

2.4 关键环节施工工艺和标准流程

(1) 管道的定位和清孔。管道安装一直以来均未受到各方关注。但从历年来佛山地区的检测情况分析,管道定位的准确性对预应力施工质量存在一定影响。在管道安装前后需进行监控,确保按照设计要求进行管道安装。建议预应力施工单位在施工中逐步探索及改良管道准确定位方式。大部分项目都有安排人员进行清孔作业,但多弯孔道的清理存在客观困难,需群策群力来解决问题。关键在于树立把事情做好的责任心。

(2) 张拉梁体质量检查。预制梁结构或现浇结构梁块浇筑完成脱模后应进行外观验收和锚端砼质量检查,若锚端垫板下砼质量不良应尽快进行处理。在预应力张拉前需对梁体(块)进行回弹法砼强度检测,强度不满足要求严禁张拉。

(3) 梳编穿束工艺(重点)。科学合理的梳编穿束工艺可使预应力施工质量得到大幅提升并保障其稳定性。梳编穿束工艺流程如下:1) 合格、稳定的关键原材料(锚板、钢绞线及时送检,禁止未检先用);2) 清洁、平整的场地;3) 根据施工需要对钢绞线统一下料,确保同孔钢绞线长度基本一致,并按孔

堆放;4) 以锚板或限位板作为梳束工具,并对锚板或限位板的孔进行编号,将下好料的钢绞线一端穿进梳束工具,同时对应梳束工具的孔号将钢绞线编号(与梳束工具编号一致);5) 在梳理中每隔 1.5 m 用扎丝进行绑扎,使柔性的预应力筋变为刚性,梳理完毕后对钢束另一端也对应编号并标识清晰;6) 在钢束两端做好防护措施,保护钢绞线编号并防止穿束时错乱;7) 依次梳理完需要使用的钢束,按规定存放备用;8) 将梳编好的钢束整束穿过孔道,按照钢绞线编号依次穿入对应锚板孔中(锚板需提前做好编号,顺序与梳束工具编号规则一致);9) 安装夹片,夹片外表面涂抹退锚灵或厂家要求的介质,以利于二次张拉作业或检测。

(4) 张拉控制要点。每次张拉作业前确认以下几点:1) 张拉设备是否正常运转,并进行热机、油泵排气、漏油检查;2) 张拉参数录入是否正确,包括张拉力值参数、持荷时间、千斤顶力值修订公式等;3) 理论伸长量。若使用的是自动张拉设备,确认设备正常、参数正确后即可进行张拉作业。张拉过程中需注意:1) 人员安全第一;2) 张拉孔道顺序严格按照设计要求进行;3) 测量实际伸长量,切实落实力控

为主、伸长量控制为辅的“双控”要求,当实测伸长量和设计伸长量有出入时停止张拉作业,查找原因,处理完毕后方可进行下一步作业;4)张拉完后测量梁中拱起,若与设计值有偏差,应及时查找原因。

## 2.5 检测

目前验证预应力张拉施工质量的方法有端头敲击法、传感器埋设法、反拉法等,其中业内较为认可的是反拉法。国内利用反拉法原理研制的检测设备较多,质量良莠不齐。检测设备检测结果的重复性、重现性尤为重要,在前期检测机构进场检测时应要求其出具检测设备检测结果的重复性、重现性报告或现场进行测试,满足要求方可进行后续检测。

因预应力张拉时采用的是整束张拉施工,而检测时采用的是单根张拉检测,现场进行预应力张拉质量验证时,应对整束进行全钢绞线检测,不建议仅进行部分钢绞线抽检。根据单根检测结果计算整束力值、整束不均匀度,结合张拉施工过程提出合理化意见,指导预应力施工,提升预应力施工整体质量。

## 2.6 环境

环境一般指环境天气、作业环境和仓储环境。规范明确规定雷雨天气严禁进行预应力张拉作业,这一点各项目均能做到。下面针对作业环境、仓储环境进行分析。

(1) 作业环境。1) 梳编穿束施工时,梳编束的作业环境应干净、平整、无水渍(有条件的场地,每隔1~2 m 布置木方以放置钢绞线),以防污染、防锈、防刮伤。2) 张拉环境。尽量避开正午艳阳时,防止设备油温过高影响力值系统的精度和工人的专注度。3) 箱内预应力施工时注意通风,并避免长时间箱内作业。

(2) 仓储环境。关键在于建立行之有效的仓库管理制度,关键材料按规范要求存储,落实到位、责任到人。不管是波纹管还是钢绞线、锚具夹片,都必须存储在通风、干燥、无腐蚀气体等的地方。很多项目进场后,塑料波纹管随意堆放、露天爆晒、污染严重,导致其变形或破孔、开裂。变形影响穿束效率,严重的根本穿不了束;破孔、开裂造成砼浇筑时漏浆进入孔内,凝结后无法清孔,严重时直接堵管。

## 3 应用效果

按照5M1E分析法进行管控的2个项目的锚下有效预应力检测情况如下:

(1) 项目A。前过程采用5M1E分析法进行管

控,共抽检7片梁、312根钢束。单根力值合格率为93.6%,同束不均度合格率为98.6%,整体预应力施工质量优秀且稳定。历次检测情况见图1。

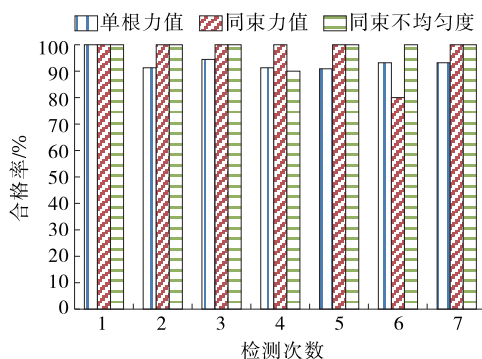


图1 标准流程控制项目历次检测情况

(2) 项目B。前期由项目自行按照经验进行施工,首片梁检测时,力值合格率(单根、整束)、同束不均度合格率均为25%,施工质量非常差。通过5M1E分析法进行梳理、逐步调整后,第3次检测时,整束力值合格率和同束不均度合格率均达到100%,施工质量满足要求。检测结果见图2。

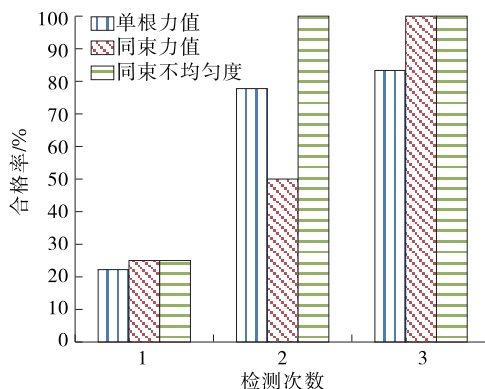


图2 非标准流程控制项目历次检测情况

## 4 结语

预应力体系是桥梁结构的生命线,其施工质量关系桥梁结构的耐久性。使用5M1E分析法对预应力施工环节进行分析及全面质量管控,推进规范化、标准化和精细化施工,可消除施工过程的安全隐患,确保锚下有效预应力的质量,响应交通运输部加强公路桥梁“预防为主,科学分析,及时纠正”的要求,从而提高预应力桥梁的耐久性和安全性。

## 参考文献:

- [1] 陈光健,刘国冬.中国建设项目管理使用大全[M].北京:经济管理出版社,2008.

- [2] 李林紫.公路桥梁施工中预应力技术施工质量控制分析[J].交通世界,2017(20).
- [3] 李周沛,欧阳娜.锚下预应力智能反拉系统检测研究[J].公路与汽运,2015(5).
- [4] 杨福林.预应力混凝土梁桥锚下有效预应力提升分析[J].广东公路交通,2017(3).
- [5] 黄兴,韩伟威,陈赞.高速公路桥梁施工安全评估及控制[J].公路与汽运,2013(6).

- [6] 方晓玥.现浇预应力桥梁质量的监督管理探讨[J].公路与汽运,2016(3).
- [7] 李梦晨.基于模糊网络分析法的高速铁路施工质量风险评估研究[D].成都:西南交通大学,2014.
- [8] 陈永瑞.基于施工质量的大跨径钢箱梁悬索桥成桥安全状态评估[D].西安:长安大学,2015.

收稿日期:2018-04-09

\*\*\*\*\*

(上接第161页)

均匀拱顶变形,洞口段强风化板岩受地表水下渗影响衬砌背后围岩孔隙水压力增大。

## 5 处治措施

(1) 针对拱顶纵向裂缝及拱腰部位的环向裂缝,对于宽度为0.2~2 mm的裂缝,采用注射环氧树脂浆液等方法修补;对于宽度大于2 mm的裂缝,采用压力灌入超细水泥浆等方法修补。同时对于宽度大于0.5 mm的裂缝,采用凿槽并结合注浆充填的方法修补。另外,针对拱顶纵向裂缝,在对裂缝进行注浆充填后,沿缝粘贴宽度不低于60 cm的碳纤维布。

(2) 全断面粘贴不小于5 mm的钢板(钢带),相邻钢板(钢带)搭接长度不小于40 cm。采用锚栓锚固结合压力注胶的方法进行粘贴。

## 参考文献:

- [1] 李晓.鹰鹞山隧道衬砌纵向裂缝检测与处置对策[J].铁道建筑建设,2016(3).
- [2] 李水明.浅谈隧道二次衬砌混凝土裂缝成因与处理[J].铁道建筑技术,2008(增刊1).
- [3] 叶飞,何川,夏永旭.公路隧道衬砌裂缝的跟踪监测与分析研究[J].土木工程学报,2010,43(7).
- [4] 张晓航.公路隧道衬砌裂缝产生原因和整治措施[J].路基工程,2007(4).
- [5] 刘学增,张鹏,周敏.纵向裂缝对隧道衬砌承载力的影响分析[J].岩石力学与工程学报,2012,31(10).
- [6] 王华牢,刘学增,李宁.纵向裂缝隧道衬砌结构的安全评价与加固技术[J].岩石力学与工程学报,2010,29(增刊1).

收稿日期:2017-07-17

\*\*\*\*\*

(上接第167页)

- portation Research Part A: Policy and Practice, 2017, 101.
- [7] 袁月波.关于高速公路通行费收入预测的探讨[J].江西建材,2016(10).
- [8] 刘星.高速公路通行费预测技术研究[D].长沙:长沙理工大学,2015.
- [9] 陈昌兰.高速公路上市公司盈利能力分析[D].成都:西南财经大学,2011.
- [10] 刘红心.2010—2012年高速公路上市公司盈利能力分析[J].财经界:学术版,2014(2).
- [11] 符蓉.高速公路行业多元化经营状况和盈利能力分析:以宁沪高速为例[J].中国管理信息化,2017,20(11).
- [12] 杨晓伟.浅议合理编制公路建设工程投资估算[J].铁路工程造价管理,2014,29(3).
- [13] 梁亚莉.计重收费模式下基于收费系数的高速公路通行费收入预测研究[J].交通科技与经济,2017,19(4).

- [14] 胡丹,朱一红.建设高速公路资金投入的多元化发展[J].现代经济信息,2012(20).
- [15] 王建强,习江鹏,郗恩崇.高速公路改扩建项目的投资效益分析[J].公路交通科技,2010,27(5).
- [16] 魏伟.浅析高速公路改扩建项目的投资效益[J].商业文化:上半月,2011(5).
- [17] 国务院令 第417号,收费公路管理条例[S].
- [18] 田宇.高速公路建设项目投资决策研究[D].西安:长安大学,2015.
- [19] Bain R. Error and optimism bias in toll road traffic forecasts[J]. Transportation, 2009, 36(5).
- [20] 王金花.公路工程项目投资估算方法的研究[D].重庆:重庆交通大学,2012.
- [21] 马惠萍.高速公路通行费预算绩效审计评价体系研究:基于辽宁省2015年高速路通行费数据[D].沈阳:辽宁大学,2017.

收稿日期:2018-01-23