

预制装配式桥梁检验标准研究分析

孙雨蒙¹,傅晨曦²,吴亚坤²,周 青²

(1.东南大学建筑设计研究院有限公司,江苏 南京 210096; 2.华设设计集团股份有限公司,江苏 南京 210014)

摘 要:随着经济与技术的不断发展,桥梁建设作为传统的劳动密集型工程亟需进行工业化与产业化升级。预制装配技术的应用,能够大幅提高桥梁建设的自动化程度与生产效率,但与之对应的规范及标准的整体编制情况均滞后于现有技术发展,关于装配式混凝土桥梁的相关检验评定标准内容也尚不健全。通过对我国桥梁预制装配式构件检验的相关标准进行总结分析,对比了各标准之间的指标区别,得出结论有:现行的行业及地方标准对桥梁预制结构在尺寸、外观上的检验标准已较为系统完备,但在钢筋、灌浆套筒及管桩这类无法肉眼检测的指标规定上,仍需要进行进一步的补充修订。

关键词:预制装配;构件检验;行业标准;地方标准;桥梁工程

中图分类号: U446.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)12-0090-07

0 引 言

随着我国经济的不断发展,桥梁建设采取传统劳动密集型的建造方式已不能满足要求,工业化的转型是其必然趋势。

规范标准是指导桥梁行业发展的重要依据,目前关于预制装配式桥梁在行业及地方层面均已出具较多规范,但由于新技术的建立客观上需要一定时间,同时我国在工业化建造领域已取得了一系列技术突破,因此现行的各类规范面临指标规定不全面以及控制标注不一致的情况。为此,本文对现行 25 册规范和标准文件进行了调研、统计与分析,梳理各项指标,为检验标准的完善奠定基础。

1 调研范围

本次共调研桥梁设计、施工、质量检验相关标准(文件)25 项^[1-25],如表 1 所示。其中 3 项目前处于征求意见或报批阶段,已投入使用的标准共计 22 项^[1-22]。

从调研情况可以看出,国家级标准数量较少,仅有 5 项,由国家协会、地方协会、地标市场监督管理局、地方交通主管部门、地方质检管理部门等下发的标准较多,达 20 项,其中地方及地区标准占比较多,这也反映了不同地区对预制装配技术的应用存有不

同趋向,技术特点各不相同。

根据标准所涵盖技术要点的不同进行统计,比如将主要面向施工、未突出质量检验的标准列入施工类标准,则其中设计类有 9 项、施工类有 16 项、质量检验与验收类有 10 项,如图 1 所示。总体上分布比较均匀,主要侧重于施工。

以所针对的装配式结构为区分,对标准进行统计,则其中上部结构专属的标准有 1 项,下部结构专属的标准有 15 项,上部与下部结构并存的标准有 9 项,如图 2 所示。可见目前的标准普遍聚焦于下部结构,包括针对并存结构的标准中也较大篇幅聚焦于下部结构。这与装配式桥梁上部结构相对成熟而下部结构仍处于探索之中的情况有关。

综上所述,目前我国在对装配式桥梁结构的标准的出台上仍是以地方为主,全国统一的规范标准尚未系统性形成。因此,需要对全国各地的装配式桥梁检验标准进行系统性对比。

2 针对预制上部结构建造的标准分析

2.1 针对预制过程控制的标准分析

2.1.1 原材料

预制结构中的原材料标准规定主要是对混凝土、钢筋、灌浆料、砂浆、钢筋连接用灌浆套筒、钢筋锚固用波纹钢管、环氧黏结剂、预应力筋及锚具组装连接件等进行规定。目前我国共有 13 部标准进行了原材料规定,其中 1 部为行业标准,12 部为地方标准,如

收稿日期: 2023-12-26

作者简介:孙雨蒙(1995—),男,本科,助理工程师,从事桥梁工程设计工作。

表 1 桥梁预制装配结构检验标准列表

编号	标准级别	标准名称	编号	是否列入分析
1	行业标准	《公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程》	JTG F80/1—2017	✓
2	行业标准	《公路桥涵施工技术规范》	JTG/T 3650—2020	✓
3	行业标准	《公路装配式混凝土桥梁设计规范》	JTG/T 3365-05—2022	✓
4	行业标准	《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》	征求意见稿	✓
5	行业标准	《预应力混凝土管桩技术标准》	JGJ/T 406—2017	✓
6	协会标准	《装配式城市桥梁工程技术规程》	T/CECS 728—2020	✓
7	协会标准	《钢筋锚固用灌浆波纹管》	T/CECS 10098—2020	×
8	协会标准	《公路桥梁预应力混凝土管桩基础技术规程》	报批稿	✓
9	协会标准	《高速公路预制装配式桥墩施工技术规范》	征求意见稿	✓
10	交通部门标准	《预制拼装桥墩技术规程》	DG/TJ 08-2160—2015	✓
11		《公路工程装配式施工质量验收评定标准》	DG/TJ 08-2250—2017	✓
12		《节段预制拼装预应力混凝土桥梁设计标准》	DG/TJ 08-2255—2018	×
13	交通部门标准	《轨道交通预制拼装桥墩技术标准》	DG/TJ 08-2345—2020	✓
14		《公路桥梁混凝土构件工厂预制技术指南》	ZJ/ZN 2020—09	✓
15		《预制拼装桥墩设计与施工技术规范》	DB33/T 2385—2021	✓
16	交通部门标准	《装配式混凝土桥墩应用技术规程》	DB 33/T 1201—2020	✓
17	地方标准	《公路预制装配式桥梁下部结构施工技术规范》	DB 63/T 1985—2021	✓
18	地方标准	《公路预制装配式桥梁下部结构质量检验评定规范》	DB 63/T 1986—2021	✓
19	地方标准	《四川省城市桥梁预制拼装桥墩生产、施工与质量验收技术标准》	DB J51/T 120—2019	✓
20	交通部门标准	皖交质监局函〔2014〕92 号 - 公路钢筋保护层	皖交质监局函 2014 92 号	✓
21	交通部门标准	《装配式混凝土桥梁专用质量检验评定标准》	—	✓
22	交通部门标准	《成都市预制拼装桥墩生产、施工与质量验收技术导则》	—	✓
23	交通部门标准	《无锡市预制拼装桥墩施工质量验收标准》	—	×
24	交通部门标准	《绍兴市预制拼装桥墩生产、施工与质量验收技术导则》	—	✓
25	企业标准	《预制混凝土立柱》、《预制混凝土盖梁》、《预制混凝土小箱梁》	Q/CJGY 001~003—2019	✓

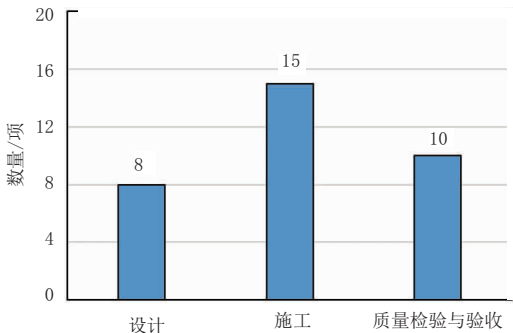


图 1 标准按技术种类分布

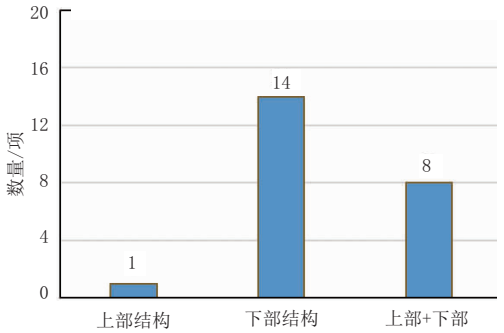


图 2 标准按针对结构分布

图 3 所示。

对于钢筋及混凝土原材料，各标准均有详细的阐述。

对于灌浆料，大多数标准都对其强度、流动度、竖向自由膨胀率、氯离子含量和泌水率分别进行了标准值的规定，其中行业标准《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654—2022)^[4]还对 28 d 自干燥条件下的收缩率进行了进一步的补充修订。

对于其他原材料如砂浆垫层、灌浆套筒、钢筋锚固用波纹管、黏结剂和锚具等，各规范均提出了设计要求。其中《公路预制装配式桥梁下部结构质量检验评定规范》(DB 63/T 1986—2021)^[16]与《装配式混凝土

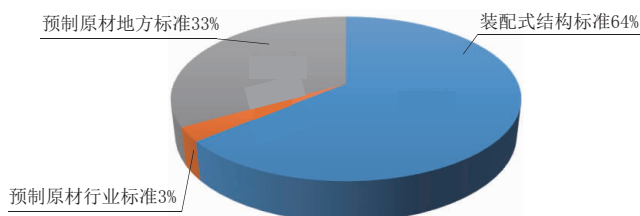


图3 预制结构原材料标准占比

土桥梁专用质量检验评定标准》^[19]对钢筋锚固用波纹管除设计要求外,还进行了详细规定,且两者指标保持较高的一致性。

2.1.2 模板

对模板的规定主要包括对上部结构尺寸、下部结构尺寸、相邻两板表面的高低差、对角线、预埋件中心线位置及键槽成型模块进行规定。目前我国共有6部标准对装配式结构的模板进行了规定,其中行业标准有2部,地方标准有4部,如图4所示。

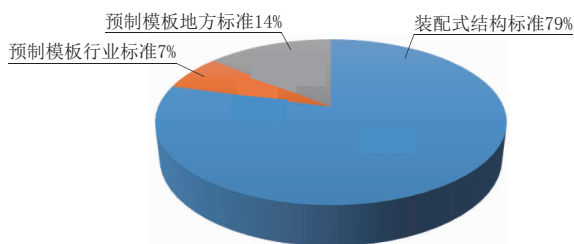


图4 预制结构模板标准占比

大多数规程未明确规定模板的加工事项,对模板的允许偏差默认参照行业标准《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020)^[2]中的规定,只考虑模板尺寸偏差和箱梁两板表面的高低差。行业标准《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654—2022)^[4]对键槽成型模块的允许偏差进行了修订,同时,《公路预制装配式桥梁下部结构质量检验评定规范》(DB 63/T 1986—2021)^[16]进一步对模板对角线的允许偏差进行了规定。

2.1.3 钢筋及预埋件

在预制过程中,有关钢筋胎架的规范涉及5部地方标准,且均对其进行了详细的允许偏差值的规定,在预制结构标准中所占比例如图5所示。在对钢筋安装实测允许值的规定中,钢筋间距、保护层厚度、骨架尺寸和弯起钢筋位置是各标准控制的重点。其中行业标准《公路工程质量检验评定标准—第一册—土建工程》(JTG F80/1—2017)^[1]的规定最为详细,其余地方标准均与其相差不大。

此外,对先张法钢绞线安装和后张法管道安装的预制过程偏差允许值,行业标准《公路工程质量检验评定标准—第一册—土建工程》(JTG F80/1—

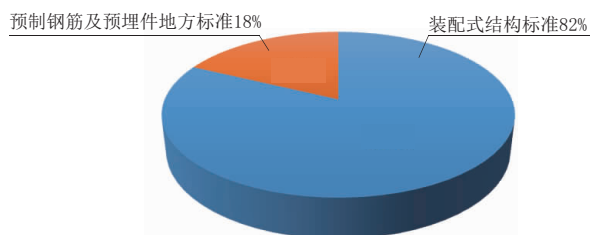


图5 预制结构钢筋及预埋件标准占比

2017)^[1]进行了最为详细的规定,其余行业地方标准则基于该规范进行了一定的允许值规定,使得整体允许偏差更小。

2.2 针对预制成品验收的标准分析

对上部结构预制构件成品的验收标准指标主要是围绕结构强度、预制成品尺寸、平整度、横坡、预埋件位置及保护层厚度几个方向展开。目前,我国共有1部行业标准和5部地方标准可作为上部结构成品的实测控制参考,如图6所示。其中仍是以行业标准《公路工程质量检验评定标准—第一册—土建工程》(JTG F80/1—2017)^[1]规定的最为详细,其余地方标准在该基础上做出了一定的修订,修订方向以更加精细化为主。

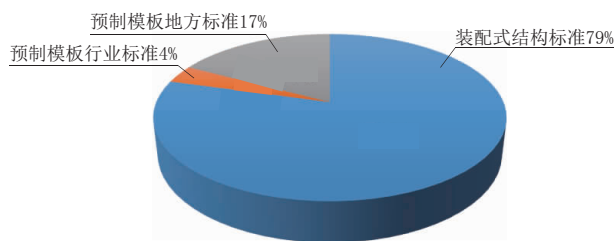


图6 预制成品标准占比

2.3 预制标准体系总结

2.3.1 钢筋工程

钢筋原材料进场后,首先进行下料和加工,然后在专用胎具上进行钢筋绑扎,最后起吊入模组装。混凝土内部大量的预埋件也在此步骤进行埋设,包括预埋钢板、锚具、波纹管等。

预制装配结构的钢筋工程有两个特色工艺点在于钢筋绑扎胎具以及匹配件的卡具(含其他定型定位装置),绑扎胎架为钢筋位置精度提供保障,匹配件的卡具为精确匹配组装提供保障。

上文已经提到目前对于装配式结构的钢筋原材料和下料加工具备成熟的标准规定,但对于钢筋胎架、卡具等定位设备一般由施工单位自行把握,暂未总结出设计方法,标准上尚未有规定。

2.3.2 模板工程

模板采用定型钢模板,在清理后进行组装,我国的行业和地方标准均有对模板工程的相关规定,从

原材料、加工、清理到组装标准的规定较为全面,且目前推行的智能化液压模板依然能够遵循该类检测指标,因此总体上可以参考现行国家标准执行组装检验、保障构件的预制精度。

2.3.3 混凝土工程

混凝土工程的一般流程为原材料进场、混凝土拌合、混凝土运输、混凝土浇筑与振捣、混凝土蒸汽养生和常规养生等。

对于不同工厂,混凝土运输设备与布料设备有较大差异,有采用较为成熟的罐车运输、布料斗布料的,也有采用鱼雷罐运输、自动布料机布料的,设备上难以统一,但应强调必须以混凝土施工过程中的工作性能及混凝土的最终品质作为检验控制的标准。

但整体看来,装配式结构的混凝土工程在我国装配式结构桥梁的不断发展中已形成了系统完备的标准体系。

2.3.4 预应力工程

预应力工程包含钢绞线材料的进场、钢绞线下料、钢绞线安装与预应力张拉、压浆等环节,对于先张法,钢绞线的安装与张拉在钢筋绑扎、组装等环节中实施。由于预应力张拉工程会直接影响桥梁性能,我国行业和地方规范整体上均对其做出了详细的标准规定,且目前尚无大规模应用的新技术体系,因此总体上现行国家标准在这方面已较为系统完备。

2.3.5 成品检验

结合上述对预制构件上部结构的成品检测指标而言,当前规范对成品检验的强度和尺寸规定相对比较全面,主要存在不足的部分在于对预埋尺寸和钢筋保护层厚度这类内部结构的检测,如对预埋连接件的检测存在不足、对预制件之间的匹配精度控制缺少支撑等。此外,电磁感应法已普遍应用于工厂预制构件的钢筋保护层厚度的检测,但目前相关的规范体系缺乏更新。

3 针对预制下部结构建造的标准分析

3.1 针对预制过程控制的标准分析

由于预制下部结构在对原材料、钢筋工程、模板工程及混凝土工程的规范制定中,与上部结构存在一定的相似性,便不再多做分析。不同的是,在下部结构的预制过程中,需要重点研究各结构之间灌浆套筒的连接规定。

灌浆套筒作为目前主流的下部结构的连接方式之一,对在盖梁与立柱、承台与立柱、盖梁与墩柱之

间的定位系统均有相关的标准进行参考。目前,我国针对灌浆套筒定位的相关标准的占比如图 7 所示,主要为《预制拼装桥墩设计与施工技术规范》(DB33/T 2385—2021)^[13]和《装配式混凝土桥梁专用质量检验评定标准》^[19]中对其有详细的描述。

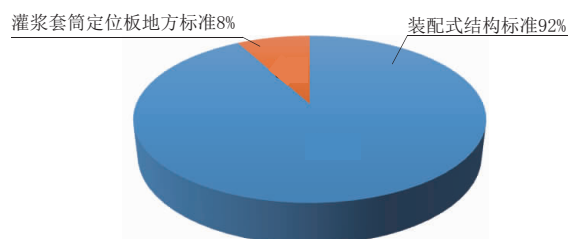


图 7 灌浆套筒定位板标准占比

3.2 针对预制成品验收的标准分析

3.2.1 盖梁

盖梁是连接上下部结构的重要构件。对于预制成品盖梁的检测标准,我国目前一共有 13 部,其中行业标准 1 部,地方标准有 12 部,如图 8 所示。以行业标准《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654—2022)^[4]为例,重点对预制盖梁成品的混凝土强度、外观尺寸、横坡及表明平整度做了详细规定。各地方标准在包罗了这些指标的同时,还对盖梁的侧向弯曲做出了一定的标准值参考。

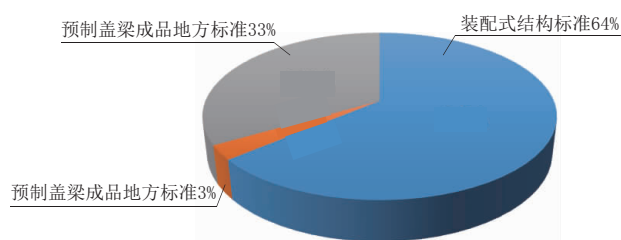


图 8 预制盖梁成品标准占比

3.2.2 墩柱

目前我国针对预制墩柱成品检测的标准一共有 14 部,其中行业标准 2 部,地方标准 12 部,比例如图 9 所示。在这些标准中,关于墩柱与盖梁控制的控制指标基本相同,均为混凝土强度、外观尺寸和平整度等。

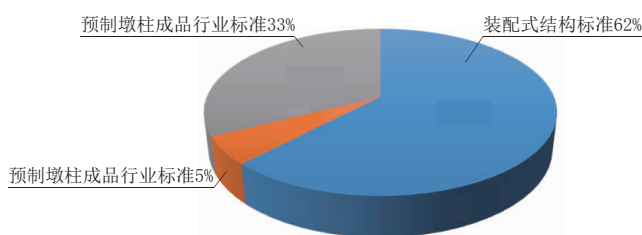


图 9 预制墩柱成品标准占比

3.2.3 其余细部结构

我国对于下部结构预制成品检测的标准在盖梁和墩柱外,还涉及一部分细部结构,如灌浆套筒、金

属波纹管、锚垫板、支座垫石、预留孔、键槽等结构。相关规定总计包含行业标准3部,地方规范14部,在行业标准《公路工程质量检验评定标准—第一册—土建工程》(JTG F80/1—2017)^[1]和《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020)^[2]中均仅有对支座垫石的相关规定,行业标准《公路装配式混凝土桥梁施工技术规范》(JTG/T 3654—2022)^[4]对灌浆套筒和预留孔洞的规范做了补充说明。相比之下,地方标准的控制指标更为详细,《轨道交通预制拼装桥墩技术标准》(DG/TJ 08-2345—2020)^[11]和《关于规定公路工程电磁感应法检测钢筋保护层厚度允许偏差值的通知》^[18]进一步对下部结构预制成品的钢筋保护层厚度也提出了检测指标的规定。

3.3 预制标准体系总结

下部结构的预制标准体系分类与上部结构相同,目前对预制下部结构的标准规定也基本覆盖全面。

同时,预制装配式下部结构的关注重点在于不同构件之间的连接性能,因此针对灌浆套筒和各类预埋件的性能检测成为规范研究的关键。如今面对无损检测技术的发展,我国行业标准和地方标准对于下部结构连接件的检测却仍运用传统方法,故在该方向上需要进行一定的优化和修订。

4 针对预制结构连接与接缝建设的标准分析

4.1 研究现状

4.1.1 上部结构连接现状

对上部结构的科研主要聚焦在连接技术层面,目前预制主梁桥面板间采用的连接形式,根据相互作用方式主要分为两类:干接缝和湿接缝^[26-27]。

其中,干接缝主要利用拼接缝界面之间的黏合作用,或利用企口缝界面之间的机械咬合力等形成有效连接;湿接缝则主要是通过接缝内布置各类钢筋、钢板和预应力筋等,并在接缝内填充各类接缝混凝土(常见的包括低收缩普通混凝土、超高性能混凝土UHPC等),该类接缝也是目前预制混凝土桥面板中最常见的连接方式。

首先,对于湿接缝中的钢筋连接形式,现有工程大多采用传统直线钢筋,或应用较为新颖的环形钢筋、锚固板钢筋和螺旋钢筋等连接方式。其中,环形钢筋由于其传力效果良好、搭接长度较短、施工相对便利等优势,相较于直线钢筋更适用于湿接缝连接形式,但关于环形钢筋的有效搭接长度方面的标准设计方法仍缺乏较为定性的研究成果。

其次,对于钢板湿接缝的连接形式,主要包括焊接钢板连接与栓接钢板连接这两类。钢板湿接缝一般适用于桥梁纵向湿接缝,其主要优势体现在所需的现场施工工作量较少,但对施工精度的控制要求相对较高,且需要考虑接缝内钢板将面临的钢材锈蚀等问题,应用范围受到了一定的制约。

此外,对于预应力筋的连接形式,主要分为预应力筋湿接缝和局部预应力筋湿接缝这2类。由于预应力的施加,桥面板和接缝的耐久性得到了有效提升,但因为施加预应力需要接缝混凝土在浇筑养护并形成足够强度后方可实施,不利于快速化施工,在施工工期有限时难以采用。

4.1.2 下部结构连接现状

下部结构的构件连接方式主要包括预制墩柱与基础或承台的连接、预制盖梁与墩柱的连接及预制墩柱节段之间的连接。预制墩柱与基础或盖梁之间的连接从施工建造方式和设计理念上可分为“灌浆/灌缝固定连接”和“无黏结预应力连接”这2种形式。由于后张无黏结预应力连接技术的应用案例相对较少,目前国内针对连接和接缝的标准主要还是以应用最多的承插式、灌浆套筒及灌浆波纹管连接技术为主^[28-29]。

采用承插式连接形式的预制桥墩,其连接位置处的抗拉力学性能取决于桥墩承插深度以及其与灌浆料的黏结性能。

灌浆套筒连接形式主要通过套筒中插入带肋钢筋并填充灌浆料实现连接,因此该类连接形式的可靠性主要取决于钢筋与灌浆料之间、灌浆料与套筒之间的相互黏结性能的大小。相关研究表明,钢筋套筒连接形式的抗拉力学性能主要取决于灌浆料的强度、带肋钢筋的锚固长度和带肋钢筋直径等因素。

灌浆波纹管连接形式主要用于预制墩柱与承台或盖梁之间的锚固连接。将预制墩身节段与已预埋于盖梁或承台内的金属波纹管连接,通过预制墩身伸出的钢筋插入波纹管后灌浆,以形成可靠连接。

4.2 连接与接缝质量控制标准分析

对装配式结构的连接和接缝的标准制定主要是针对施工过程中不同构件之间的连接质量的检验,包括了对砂浆、灌浆料、湿接缝混凝土及环氧黏结剂的强度要求,对灌浆套筒与灌浆金属波纹管位置的要求,对钢筋连接、钢筋间距、接缝宽度与接缝错台的检验要求。

目前涉及结构连接与接缝质量控制的标准共计

9 部,其中行业标准 2 部,地方标准 7 部,如图 10 所示,地方标准出自上海市、浙江省、青海省和南京市地区。其中行业标准仅对构件连接的混凝土及超高强度混凝土的强度要求和钢筋连接的规格做了标准规定;对于灌浆套筒,上海市、浙江省和青海省的地方标准做出了相关规定;南京市下发的涉及到构件连接的地方标准的着重点在于钢筋连接的规定和湿接缝的宽度要求。

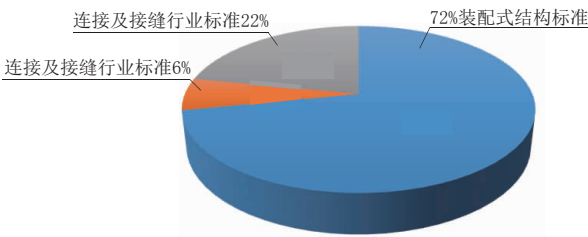


图 10 连接及接缝标准占比

5 针对预制结构安装质量控制的标准分析

5.1 针对安装成品检验的标准研究

5.1.1 上部结构

目前我国共有 1 部行业标准与 2 部地方标准对装配式上部结构进行了有关安装成品检验的规定,如图 11 所示。标准重点关注梁(板)上部结构的安装成品的安装精度和连接接缝的宽度,前者主要以安装高程偏差和支座中心偏位为检验指标。在相关的三部标准中,上海市下发的《公路工程装配式施工质量验收评定标准》(DG/TJ 08-2550—2017)^[1]对此控制标准的规定最为详细,还包含了关于带防撞护栏预制安装构件的相关规定。

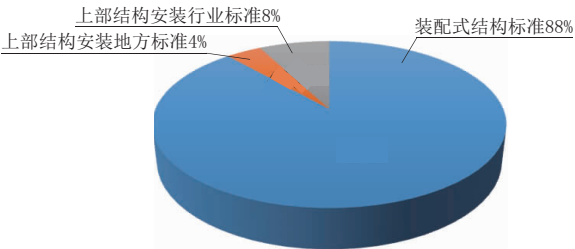


图 11 上部结构安装标准占比

5.1.2 下部结构

梳理分析我国目前对于下部结构安装成品检验的相关规范,对于埋设于地下的预制管桩的成品检验标准较少,且相关指标由于地方性土壤差异较大,具备较大的不确定性。具体判别还需根据对现场数据的统计分析,结合对桩身的完整性检测、承载能力检测等,再做出判定。

此外,对于墩柱与盖梁的安装成品检验,有 2 部行业标准、10 部地方标准对其进行了检验指标规定,

如图 12 所示。这类标准通过对轴线位置、垂直度和顶面高程等参数对盖梁和墩柱的安装成品质量进行了检验。其中行业标准未对相邻墩柱的高程差误差、相邻墩柱的中心距、相邻墩柱顺桥向错位、支座垫石中心位置和砂浆接缝厚度进行相关规定,地方标准的描述更加详细。

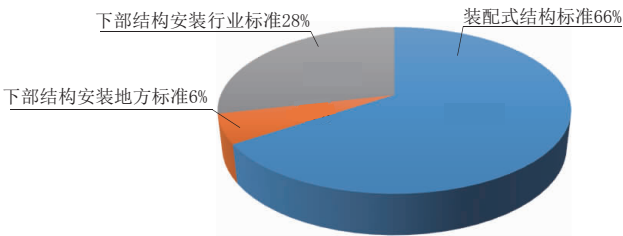


图 12 下部结构安装标准占比

5.2 安装类标准体系总结

5.2.1 梁(板)上部结构

上部结构的安装首先需要经过技术测量,再安装支座及砂筒等临时支承措施,然后吊装梁(板),并根据测量调整梁(板)位置,最后对湿接缝进行连接。对上部结构安装的规定整体上较为常规,对比我国各地区规范,在支座安装和接缝连接方面均有较为系统完备的条文说明;但同时由于国内改扩建项目的增加与新老桥拼接工程的兴起,在上部结构空间定位方面,仍需要进一步补充相关规定。

5.2.2 盖梁

在完成测量定位后,于墩柱上安装定位装置,然后吊装盖梁,通过测量调整位置,采用灌浆料与立柱进行永久连接。对于分块制作的盖梁,需要采用湿接缝或干拼缝胶接。现有规范中对预制盖梁安装的规定欠缺较多,尤其在其结构连接方面,目前我国尚未形成系统性的有关盖梁与立柱或其自身节段连接的相关标准规定。

5.2.3 立柱

在完成测量定位、安装定位装置后,对立柱进行放样并调整,然后完成座浆的临时连接,再采用混凝土或灌浆料与承台进行连接,其关键在于空间位置精度以及连接可靠性。但比较目前现有的装配式规范,对于立柱安装的规定多是针对相对其余承台的连接方向,而对于立柱安装的空间定位、座浆的标准规定缺项严重。

5.2.4 承台

承台采用现浇方法使用,其工艺比较成熟,大多数指标可从现行规范中获得,然而部分结构需要承台预留套筒或外露连接主筋,而对于承台的连接预

埋规定,目前的相关装配式规范仍然存在缺项情况。在此情况下,对于套筒及外露主筋的定位应参考梁厂内的制作方法精确定位,采取必要的卡具或专用装置以保证套筒或连接钢筋的相对位置准确。

5.2.5 管桩

对管桩安装的平面位置、垂直度、承载能力等关键指标的检验方法比较成熟,然而对于桥梁上采用的超长桩基,相关收锤标准普遍缺乏试验与经验支撑。

6 结 语

本文通过对目前国内关于预制装配式桥梁结构的检验标准的研究分析,得出以下结论:

(1)我国目前关于预制装配式桥梁结构的检验规范的行业标准较少,对其局部构件的细节参数规定较少;地方标准较多,并且补充规定了大量行业标准中未有涉及的参数。

(2)目前对于预制装配式桥梁的结构预制和成品验收在外观尺寸等方面的标准制定均已系统完善,但面对无损检测技术的发展,对应的相关检测标准还尚未进行系统化的补充和修订。

(3)通过研究我国对于装配式桥梁的安装标准,发现对桥梁管桩的检测标准一直存在一定缺失,这主要与我国各地区的地质条件差异较大有关。

参考文献:

- [1] JTG F80/1—2017,公路工程质量检验评定标准—第一册—土建工程[S].
- [2] JTG/T 3650—2020,公路桥涵施工技术规范[S].
- [3] JTG/T 3365—05—2022,公路装配式混凝土桥梁设计规范[S].
- [4] JTG/T 3654—2022,公路装配式混凝土桥梁施工技术规范[S].
- [5] JGJ/T 406—2017,预应力混凝土管桩技术标准[S].
- [6] T/CECS 728—2020,装配式城市桥梁工程技术规程[S].
- [7] JTG F80/1—2017,公路桥梁预应力混凝土管桩基础技术规程[S].

- [8] JTG F80/1—2017,高速公路预制装配式桥墩施工技术规范[S].
- [9] DG/TJ 08—2160—2015,预制拼装桥墩技术规程[S].
- [10] DG/TJ 08—2250—2017,公路工程装配式施工质量验收评定标准[S].
- [11] DG/TJ 08—2345—2020,轨道交通预制拼装桥墩技术标准[S].
- [12] ZJ/ZN 2020—09,公路桥梁混凝土构件工厂预制技术指南[S].
- [13] DB33/T 2385—2021,预制拼装桥墩设计与施工技术规范[S].
- [14] DB 33/T 1201—2020,装配式混凝土桥墩应用技术规程[S].
- [15] DB 63/T 1985—2021,公路预制装配式桥梁下部结构施工技术规范[S].
- [16] DB 63/T 1986—2021,公路预制装配式桥梁下部结构质量检验评定规范[S].
- [17] DB J51/T 120—2019,四川省城市桥梁预制拼装桥墩生产、施工与质量验收技术标准[S].
- [18] 安徽省交通建设工程质量监督局.关于规定公路工程电磁感应法检测钢筋保护层厚度允许偏差值的通知[Z].合肥:皖交质监局,2014.
- [19] 南京市公路事业发展中心.装配式混凝土桥梁专用质量检验评定标准[R].南京:南京市公路事业发展中心,2020.
- [20] 成都市城乡建设委员会.成都市预制拼装桥墩生产、施工与质量验收技术导则[Z].成都:成都市城乡建设委员会,2018.
- [21] 绍兴市住房和城乡建设局.绍兴市预制拼装桥墩生产、施工与质量验收技术导则[Z].绍兴:绍兴市住房和城乡建设局,2018.
- [22] Q/CJGY 001~003—2019,预制混凝土立柱、预制混凝土盖梁、预制混凝土小箱梁[S].
- [23] T/CECS 10098—2020,钢筋锚固用灌浆波纹管[S].
- [24] DG/TJ 08—2255—2018,节段预制拼装预应力混凝土桥梁设计标准[S].
- [25] 无锡市住房和城乡建设局.无锡市预制拼装桥墩施工质量验收标准[Z].无锡:无锡市住房和城乡建设局,2019.
- [26] 周焕强,李丹,李明,等.粗骨料活性粉末混凝土预制桥面板湿接缝受力性能研究[J].交通科技,2023(5):34—39.
- [27] 宋守坛.高速铁路预制拼装箱梁桥抗弯及接缝抗剪试验研究与理论分析[D].南京:东南大学,2016.
- [28] 刘四德,甘露,干继红,等.灌浆套筒预制拼装桥墩施工质量监督研究[J].施工技术(中英文),2023,52(20):129—133.
- [29] 陈项南.新型灌浆变形钢套筒连接技术研究[D].南京:东南大学,2016.

(上接第89页)

平位移逐渐降低。当次边跨跨径与边跨跨径比值为0.5时,位移值开始反向增加。

(4)辅助墩的设置要考虑整体受力、桥梁配重、斜拉索配置以及周围环境等多方面因素。对主跨300 m左右的钢—混组合斜拉桥,次边跨跨径与边跨跨径比值为0.3~0.4的区间比较理想。

参考文献:

- [1] JTG/T 3365—01—2020,公路斜拉桥设计规范[S].
- [2] 林元培.斜拉桥[M].北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 颜东煌,戴明禹,陈常松.组合梁斜拉桥辅助墩合理位置的优化研究[J].重庆交通大学学报(自然科学版),2022(12):70—76.
- [4] 盛春红,吴宏业.鸭绿江界河公路大桥主桥辅助墩位置参数分析[J].北方交通,2021(4):21—25.