

盾构隧道穿越成都西特大桥群桩桩基施工变形控制技术研究

赵太东¹, 贾浩敏²

(1. 中铁城市发展投资集团有限公司, 四川 成都 610000; 2. 四川省南部县第三中学, 四川 南充 637000)

摘要:随着城市轨道交通的快速发展,盾构隧道穿越既有建(构)筑物所引起的沉降、变形等施工安全问题,引起了各方的高度关注。依托成都轨道9号线一期工程,采用三维有限元分析软件ANSYS,对盾构隧道穿越成都西特大桥群桩桩基施工变形控制技术进行了研究,提出了在穿越前采用“钢管隔离桩+地面深孔袖阀管”注浆的预加固技术,最终监测数据表明,地表沉降最大值为-9.82 mm、桩基沉降最大值为-6.97 mm,均小于监测规定值,证明了预加固的必要性。

关键词:盾构隧道;特大桥群桩桩基;数值计算;施工变形控制技术;监控量测

中图分类号:V443.15 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2020)03-0022-05

Study on Deformation Control Technology for Shield Tunnel Construction under Chengdu Xite Bridge Group Pile Foundations

ZHAO Taidong¹, JIA Haomin²

(1. China Railway Urban Development Investment Group Co., Ltd., Chengdu, Sichuan 610000, China;

2. No. 3 Middle School of Nanbu County, Nanchong, Sichuan 637000, China)

Abstract: In view of the settlement and deformation of existing structures when constructing subway shield tunnels, in this paper we study the deformation control technology for shield tunnel construction of Chengdu Rail Transit Line 9 under Chengdu Xite Bridge group pile foundations. The three-dimensional finite element analysis software ANSYS was used to carry out numerical simulation and field monitoring test, and the reinforcing technology of "steel pipe isolation pile + ground deep-hole sleeve valve tube pre-grouting" was proposed before the construction of shield tunnel through the gravel stratum. The final observed data proved that the maximum accumulated settlement of the surface and the pile foundation was -9.82 mm and -6.97 mm respectively, all smaller than prescribed values, which proved the necessity of the reinforcement treatment.

Keywords: shield tunnel; extra-large bridge group pile foundation; numerical calculation; deformation control technology for construction; monitor and measure

0 引言

近年来,我国地铁交通快速发展,地铁施工技术日益成熟^[1]。伴随着地铁交通的发展,盾构技术也得到了大幅度提高^[2-3]。由于地铁多建在人口密集区域,下穿或侧穿临近建筑(构)物多有发生,对盾构施工技术提出了更加严格的要求,因此地铁盾构隧道下穿铁路桥桩基的研究也逐渐受到了关注^[4-10]。盾构隧道从既有桩基旁边通过属于近接施工范畴,此时盾构隧道将对既有桩基产生影响,而且这种影响随着新建隧道的掘进而不断发生变化^[11-12]。目前国内不少学者已对盾构隧道开挖对

桥桩基的影响进行了研究。李永胜等利用弹性地基梁理论导出盾构推进对相部桩体内力及挠曲影响的计算公式^[13];方勇等采用三维有限元方法分析盾构机动态掘进时既有桩基位移的变化规律^[14];孙连勇等采用Abaqus软件建立数值模型模拟在不主动加固和加固2种工况下,盾构隧道近距离下穿胶济铁路线桥梁与路基引起的变形情况^[15]等。

本文依托成都轨道交通9号线一期工程,从砂卵石地层预加固技术、数值模拟及现场监控量测等方面,研究了盾构隧道穿越成都西特大桥群桩桩基施工变形控制技术。

1 工程概况

1.1 盾构隧道与成都西特大桥群桩的结构形式及位置关系

1.1.1 平面位置关系

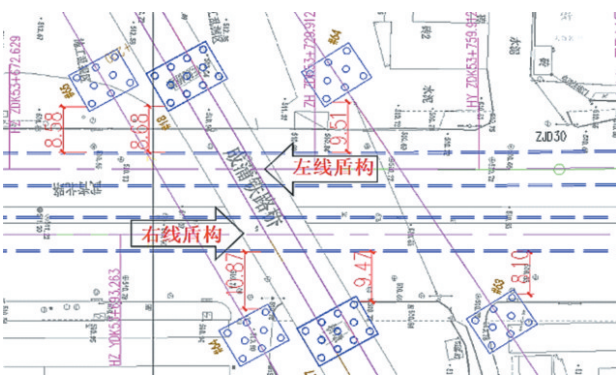
9号线机头桥站—武青北路站区间盾构隧道以平面夹角约60°斜穿越成都西特大桥群桩6座桥墩。盾构隧道穿越成都西特大桥群桩桩基如图1a、1b所示,盾构隧道与群桩最近水平距离约8.1 m。

1.1.2 盾构隧道与成蒲铁路桥剖面位置关系

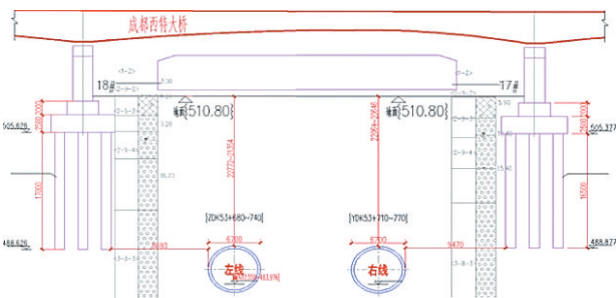
机头桥站—武青北路站区间盾构隧道双线线路间距约为14 m,与成蒲铁路桥剖面位置关系如图1c所示。左线设计长为603 m,结构底板埋深27.2~36.65 m,穿越成蒲铁路桥段里程为ZDK53+680~ZDK53+740;右线设计长为1 236.431 m,结构底板埋深18.5~36.65 m,穿越成蒲铁路桥段里程为YDK53+710~YDK53+770。



a. 实际位置关系



b. 平面位置关系



c. 盾构隧道与成蒲铁路桥剖面位置关系

图1 盾构隧道与成都西特大桥群桩位置关系

1.1.3 结构形式

盾构隧道采用圆形预制钢筋混凝土管片结构,错缝拼装,弧形螺栓连接,圆形隧道内径6 000 mm,隧道外径6 700 mm,衬砌厚度为350 mm。

成都西特大桥群桩6座桥墩。其中已建成蒲铁路桥桩基2座桥墩即(右线)#17墩、(左线)#18墩,上部结构为56 m跨度现浇连续梁;下部结构为摩擦桩基础,桩径1.25 m,桩长16.5~22 m,与盾构隧道最小水平净距约8.1 m。且成蒲铁路处于运营前调试阶段。待建9架联络特大桥已完成墩台及桩基施工,盾构隧道施工影响有4座桥墩即(左线)#64、#65墩及(右线)#63、#64墩。

1.2 工程地质与水文地质情况

1.2.1 工程地质

本区间地表第四系堆积层广泛分布,表层多为第四系全新统人工填土(Q4ml)覆盖,河流周边地区分布第四系全新统冲积层(Q4al)黏土、粉质黏土、砂土及卵石土,其余地段为第四系上更新统冰水沉积、冲积层(Q32fgl+al)黏土、粉质黏土、砂土及卵石土,下伏白垩系灌口组(K2g)泥岩、砂质泥岩。泥岩中有灰绿色斑点及条带,夹薄层石膏及钙芒硝等。

盾构隧道穿越成都西特大桥群桩段为砂卵石(局部夹粉细砂土)层(图2),岩石天然密度为2.25 g/cm³,岩土为IV级。

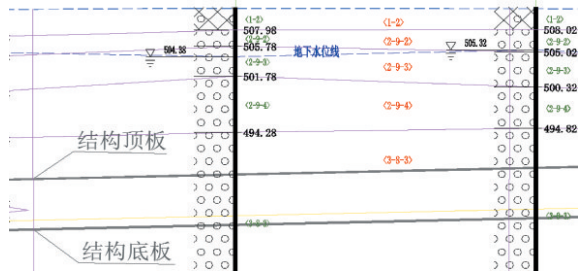


图2 盾构隧道穿越地层地质断面

1.2.2 水文地质

成都地区区域水文地质资料和已建工程水文地质勘查资料表明,场地地下水主要有3种类型:一是赋存于黏土层之上的上层滞水,二是第四系松散岩类孔隙水,三是基岩裂隙水。

2 盾构隧道与成都西特大桥群桩桩基间砂卵石地层预加固

为降低盾构隧道穿越成都西特大桥群桩桩基施工风险,保证特大桥群桩及其(成蒲铁路桥)桥上连续梁整体结构安全,在“双线盾构隧道最外侧与桥桩基间各打设一排钢管隔离桩、盾构隧道外侧与钢管隔离桩间再各打设一排深孔袖阀管”进行预注

浆加固,以防止群桩桩身受盾构施工影响,其侧向压力过大而导致群桩变形、位移等现象。

2.1 钢管隔离桩预加固

2.1.1 钢管隔离桩选用

隔离桩选用 $\varnothing 299$ mm 无缝钢管(壁厚 12 mm),设计长度为 21 节 $\times 1.5$ m/节=31.5 m。分节安装,2 节之间采用丝扣相连接,丝扣螺纹段不小于 150 mm。相邻 2 根钢管接头错开长度不小于 1.0 m。

2.1.2 钢管隔离桩布置

钢管隔离桩紧靠群桩侧沿隧道线路方向纵向布置,纵向距离 0.8~1 m,距隧道外轮廓 2~3 m,采用 YGL-100A 型全液压履带式管棚钻机跟管钻孔,深入隧道底以下约 3 m(即约 32 m)。钢管隔离桩共 127 根(左线 62 根、右线 65 根),隔离桩平面布置如图 3 所示。

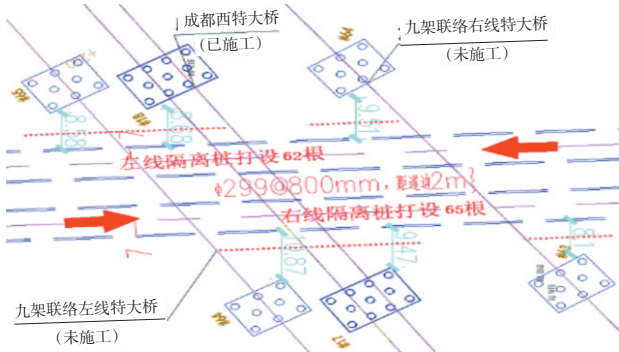


图 3 钢管隔离桩平面位置

2.1.3 钻孔与注浆

隔离桩采用跳孔法施工,隔离桩施工完成后采用水泥砂浆充填密实。

2.2 深孔袖阀管预注浆

在隧道轮廓线外与钢管隔离桩间双线路各打设一排 $\varnothing 80$ mm 深孔袖阀管(各 75 孔,共 150 孔),孔间距 0.8~1 m,孔深约为 25.5 m,呈梅花形布置,注浆范围隧道洞身中部以上,加固平面位置如图 4 所示。注浆水泥采用 PO.42.5 普通硅酸盐水泥,注浆的各项参数应根据实际注浆情况进行调整,主要参数如表 1 所示。

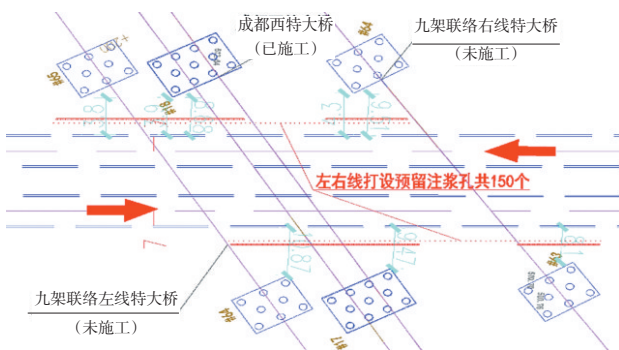


图 4 地面深孔袖阀管平面位置

表 1 地面深孔袖阀管注浆参数

序号	扩散方式	渗透~劈裂
1	注浆压力/MPa	0.2~0.4
2	注浆速度/(L·min ⁻¹)	10~20
3	凝结时间/s	60~120
4	水泥浆水灰比	0.8:1~1:1

3 盾构法施工

盾构机穿越成都西特大桥群桩桩基前,选择机投桥站一培风站区间盾构隧道右线进行试验段工况模拟,分析后得到实测总推力、刀盘扭矩、推进速度等主要参数。

分析试验段实际数据,总结盾构掘进期间参数如表 2 所示。后期盾构机穿越成都西特大桥群桩桩基时动态调整此参数。

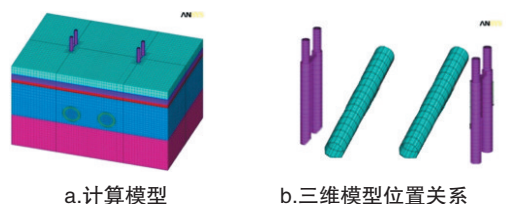
表 2 盾构掘进试验段参数分析表

序号	施工参数	值
1	土仓压力/MPa	0.109~0.183
2	总推力/kN	9 580~1 300
3	刀盘扭矩/(kN·m)	2 480~5 000
4	出土速度/(m ³ ·min ⁻¹)	1.8
5	推进速度/(mm·min ⁻¹)	22~82
6	刀盘转速/(r·min ⁻¹)	1.7
7	有效同步注浆量/(m ³ ·环 ⁻¹)	7.8~8.7
8	同步注浆速度/(m ³ ·min ⁻¹)	0.2
9	最大注浆压力/MPa	0.25
10	每环出土量/(m ³ ·环 ⁻¹)	66~72
11	二次注浆水灰比	0.8:1~1:1
12	水玻璃:水泥浆	1:1
13	二次注浆量/(m ³ ·孔 ⁻¹)	0.5~1
14	注浆压力/MPa	0.2~0.4

4 数值模拟与监控量测

4.1 数值建模及计算分析

在盾构机穿越成都西特大桥群桩桩基前,采用三维有限元分析软件 ANSYS 进行三维数值模拟及计算分析。三维数值计算模型如图 5 所示。通过模拟计算,分析盾构隧道穿越成都西特大桥群桩桩基的地表沉降值和群桩桩基的变形云图。



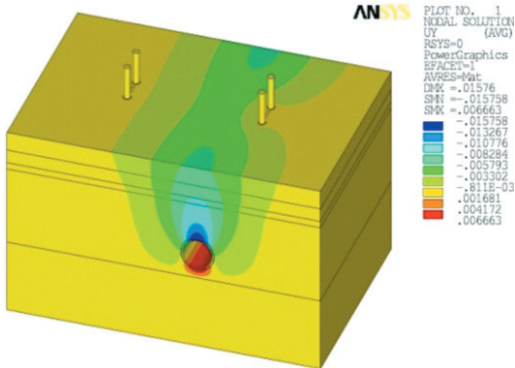
a.计算模型

b.三维模型位置关系

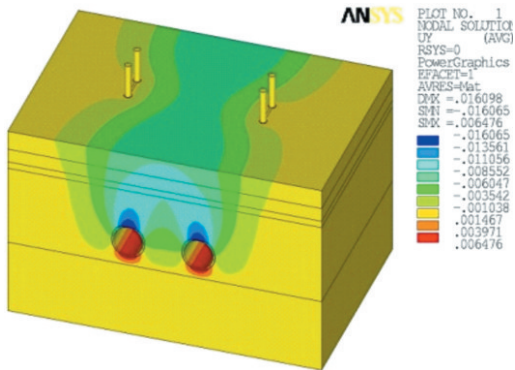
图 5 三维有限元模型

4.1.1 地层沉降云图

单线通过后地层竖向位移云图如图6a所示,双线通过后地层竖向位移云图如图6b所示。



a.单线通过



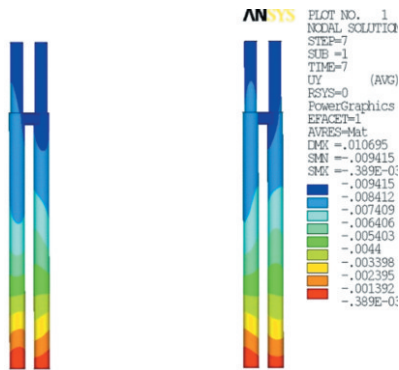
b.双线通过

图6 地层竖向位移

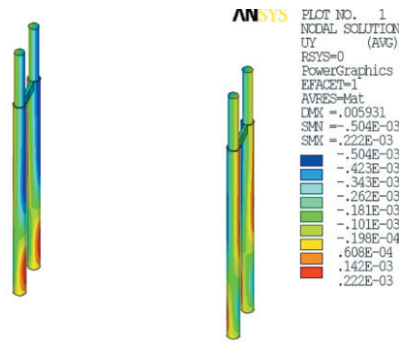
计算结果可知,单线通过后地层沉降从区间顶逐步发展至地表,地表最大沉降为-5.79 mm,双线通过后地表竖向沉降最大约为-8.55 mm。

4.1.2 盾构通过后桩基竖向位移

双线通过后桩基竖向位移云图如图7a所示,桩基竖向附加位移云图如图7b所示。双线通过后,因盾构开挖造成桩基竖向位最大移约为0.5 mm,可见盾构开挖造成桩基的竖向位移非常小;桩端竖向位移仅为0.2 mm,说明桩端持力层较为稳定,受盾构施工扰动较小。



a.竖向位移



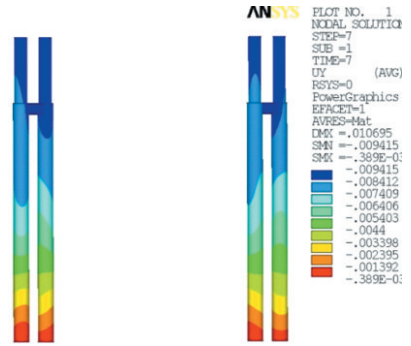
b.竖向附加位移

图7 双线通过后桩基竖向位移

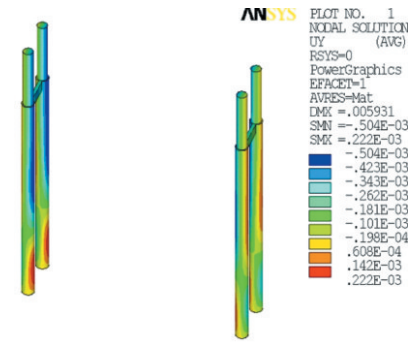
4.1.3 盾构通过后桩基水平侧向位移

双线通过后桩基水平位移云图如图8a所示,附加桩基水平位移云图如图8b所示。

由图8可知,双线通过后桥墩顶部水平位移为-9.41 mm,桩端部水平位移为-0.39 mm,桩体X轴方向倾斜约为0.9%;相对初始状态通过后桥墩顶部附加水平位移为-0.5 mm,桩端部水平位移为0.22 mm,桩身中央位置约为-0.5 mm,桩体X轴方向倾斜约为0.7%。且相对应桩顶位置桩基的水平位移约为4 mm,表明盾构开挖后土体扰动,桩基受压弯曲压缩该土体位移约为2 mm。



a.水平位移



b.水平附加位移

图8 双线通过后桩基水平向侧移

4.1.4 盾构通过后桩基纵向侧移

双线通过后桩基纵向位移云图如图9a所示,附加桩基纵向位移云图如图9b所示。

表 3 盾构穿越成都西特大桥监测数据

序号	监测项目	规定监测数据最大限值	实测监测数据最大值
1	地面沉降	累计值:隆起 10 mm、下沉 30 mm	- 9.82 mm
2	成蒲铁路桥桩沉降	累计值:10 mm	- 6.97 mm
3	成蒲铁路桥桩倾斜	倾斜值:2/1 000	满足要求
4	水平收敛位移	累计值:0.2% D	满足要求
5	土体分层竖向位移	按设计 30 mm	- 7.37 mm

桩基纵向位移(整体模型中的 Z 轴方向)如图 9 所示,双线通过后桥墩顶部纵向位移为 2.8 mm,桩端部纵向位移为 - 0.31 mm,桩体倾斜约为 0.3%;相对初始状态通过后时桥墩顶部的附加纵向位移为 0.27 mm,桩端部纵向位移为 - 0.09 mm,桩体 Z 轴方向倾斜约不足 0.2%。从位移云图看出桩腰部(与区间平齐部位)位移相向,受到两桩承台间系梁的限制桩顶位移背向。桩顶相对背向位移总量约为 0.54 mm,位移量有限。

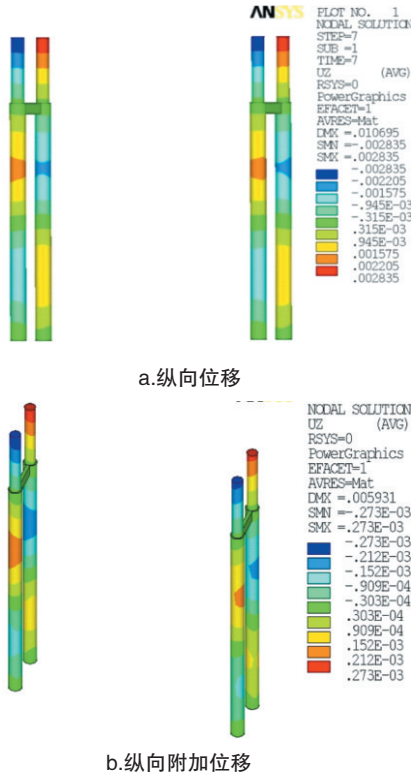


图 9 双线通过后桩基纵向侧移

4.2 监控量测

盾构穿越成都西大桥铁路桥穿越施工风险等级为 I 级,监测数据规定值与实测值如表 3 所示。从表 3 中看出,地表沉降最大值为 - 9.82 mm,桥桩沉降累计值最大为 - 6.97 mm,实测值均小于规定值。

5 结语

通过对盾构隧道穿越成都西特大桥群桩桩基施工变形控制技术的研究,得到以下主要结论:

1) 三维有限元分析软件 ANSYS 数值模拟计算结果,单线盾构隧道通过后地层的沉降从隧道顶逐步发展至地表,双线盾构隧道通过后沉降的发展从隧道边缘开始、向隧道顶部、底部收敛。双线盾构通过后,桩顶位移方向为双线区间的方向,桩间土体受到扰动,桩身弯曲向土体弹性抗力的弱侧,桩腰部位受到土体扰动最为明显,但受到桩间土体约束,位移发展也非常有限。

2) 盾构穿越砂卵石地层过程中,对沿盾构线路方向的桩基变形影响存在,且靠近盾构施工侧沉降较大。最终监测数据地表沉降最大值为 - 9.82 mm、桩基沉降最大值为 - 6.97 mm,均小于监测规定值,证明了在盾构隧道穿越砂卵石地层之前采用“钢管隔离桩+地面深孔袖阀管预注浆”的加固技术起到了关键作用。

3) 盾构隧道穿越成都西特大桥群桩桩基时,应加强监控量测,精心施工,在穿越群桩桩基之前,增加注浆孔对隧道外一定范围土体进行地层预注浆加固,预留跟踪注浆条件。此外,施工前还应做好应急处置准备,加强施工监控量测。

参考文献:

- [1] 常富贵. 地铁盾构侧穿高速铁路桥梁桩基施工技术与应用[J]. 工程建设与设计, 2018(24):204-205.
- [2] 贾少春. 盾构隧道下穿黄河施工对已建桥梁基础的影响模拟[J]. 城市轨道交通研究, 2019, 22(6):76-79.
- [3] 张志强, 何川. 地铁盾构隧道近接桩基的施工力学行为研究[J]. 铁道学报, 2003(1):92-95.
- [4] 傅雅莉. 盾构隧道下穿市政桥梁的施工影响数值分析[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(7):76-81.
- [5] 王栓, 郑晓飞, 吕伟华. 盾构隧道近距离侧穿桩基的力学响应分析[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2018, 16(2):36-43.
- [6] 陈江, 陈思明, 傅金阳, 等. 盾构侧穿邻近桥桩施工影响及加固措施研究[J]. 公路交通科技, 2016, 33(7):97-102.
- [7] 余龙. 地铁盾构侧穿既有铁路桥梁技术措施研究[J]. 岩土工程技术, 2016, 30(3):158-163.
- [8] 张海彦, 何平, 胡友刚, 等. 盾构隧道穿越既有混凝土桥梁结构的风险控制指标[J]. 中国铁道科学, 2014, 35(3):47-55.

自身不足并转变“学生基础差，‘老本’足以满足教学”的观念，以“工匠之师”的标准不断提升专业水平。

3.4 融入“1+X”理念的实训基地建设

为实现“1+X”证书制度下教学实施由“基于教师教”的模式向“基于学生学”的模式转变，除了对课程体系进行重构之外，还应具备满足教学开展所需的软硬件条件。结合“X”证书培训考核点的申报建设，在现有实训设备的基础上，按照“基础+职业(X)+创新”的模式，新建、整合、优化实训条件，融“教、培、赛、考、创、研”于一体，建设既具备教学、实验等一般性功能又具有“X”证书考证、技能竞赛、科研创新等针对性功能的复合型实验实训基地。针对专业面向的职业岗位特征以及不同等级证书的培训和考核要求，剖析“X”证书标准各模块的技能点，模块化重构课程实训单元，将“1+X”证书制度融入实训基地建设要求，完善实训条件，满足学生多元化学习需求。深化校企合作命运共同体建设，拓展校企合作模式，引入企业资源、文化、标准和管理模式，以专业特色的工作运行机制共建共享校外实训实习基地，面向社会开放实训基地，发挥示范引领作用。

3.5 创新考核评价模式

“X”证书是“职业技能水平的凭证，反映职业活动和个人职业生涯发展所需要的综合能力”^[9]。落实“1+X”证书制度，应摒弃传统“一纸一笔”定成绩

的考核评价方式，创新考核评价的模式，用发展的视角关注学生职业行动能力的提升。将课程的专业知识、实操技能、创新意识、职业素养、环保理念等纳入考核评价体系，多元化评价学生的学习成效。按“X”证书标准的技能点要求，采用模块化的考核评价方式，注重过程考核的持续性。借鉴职业技能大赛的评价模式，开发情境性的实践考核题目，采用工作任务考核形式，对学生在完成任务过程中的规划、实施、调整以及总结反思能力等进行测评。参照能力测评方法评价学生的对课程知识点、技能点的认知特征和认知水平，考核学生的职业能力高低^[10]。在学分银行尚未施行的情况下，允许任课教师先试先行，在课程教学中鼓励学生以“X”证书、论文、专利等置换课程成绩，免修部分章节内容。

4 结语

国家职业教育改革如火如荼，“1+X”证书制度是众多改革措施中与人才培养质量最直接相关的措施之一。在社会经济结构不断调整、新兴产业不断兴起的大趋势下，围绕职业技能等级标准，通过深层次、多渠道的校企合作，开展专业教学改革，为专业的发展提供更大的动能，促进机电一体化技术专业学生的技术技能培养由专业型向复合型、创新型转变，助力区域产业的转型升级。

参考文献：

- [1] 马铮,龚福明.1+X证书制度下高职院校课程体系重构探析——以汽车检测与维修技术专业为例[J].武汉交通职业学院学报,2019,21(4):51-57.
- [2] 李寿冰.高职院校开展1+X证书制度试点工作的思考[J].中国职业技术教育,2019(10):25-28.
- [3] 徐荣丽,高菊玲.“1+X”证书制度下高职院校机电类专业教学模式的改革与探索[J].教育观察,2019,8(32):87-88.
- [4] 王亚盛,赵林.1+X证书制度与书证融通实施方法探索[J].中国职业技术教育,2020(6):13-17+64.
- [5] 邵名果,李传伟.1+X证书制度与高职人才培养方案的融合性研究[J].北京财贸职业学院学报,2019,35(6):68-72.
- [6] 戴勇.1+X课证融通与专业人才培养方案优化的原则与方法[J].机械职业教育,2020(2):1-5.
- [7] 张伟,张芳,李玲俐.“1+X”证书制度下职业院校教师专业发展研究[J].职教论坛,2020(1):94-97.
- [8] 覃川.1+X证书制度:促进类型教育内涵发展的重要保障[J].中国高教研究,2020(1):104-108.
- [9] 国务院.国务院关于印发国家职业教育改革实施方案的通知(国发[2019]4号)[EB/OL].(2019-02-13)[2019-12-21].
http://www.gov.cn/zhengce/content/2019-02/13/content_5365341.htm.
- [10] 赵志群,孙钰林,罗喜娜.“1+X”证书制度建设对技术技能人才评价的挑战——世界技能大赛试题的启发[J].中国电化教育,2020(2):8-14.

(上接第26页)

- [9] 周文涛,张鹏,吴薪柳.北京地铁14号线侧穿京津城际铁路桥桩地基加固技术分析[J].城市轨道交通研究,2019,22(4):86-90.
- [10] 郑熹光,何平,张安琪,等.地铁施工对邻近桥梁桩基础内力影响分析[J].现代隧道技术,2015,52(3):110-118.
- [11] 李德胜,李大勇.盾构机下穿桩基施工对单桩承载力影响的数值研究[J].工程地质学报,2009,17(2):284-288.
- [12] 资谊.盾构隧道近距离侧穿桩基的数值计算与分析[J].铁道建筑技术,2011(S1):118-121.
- [13] 李永盛,黄海鹰.盾构推进对相邻桩体力学影响的实用计算方法[J].同济大学学报(自然科学版),1997(3):274-280.
- [14] 方勇,何川.地铁盾构隧道施工对近接桩基的影响研究[J].现代隧道技术,2008(1):42-47.
- [15] 孙连勇,黄永亮,王启民,等.地铁盾构隧道下穿既有铁路变形控制研究[J].现代隧道技术,2018,55(5):140-145+173.