

抽水蓄能电站地下厂房岩壁吊车梁混凝土施工技术

侯 炼

(中国水利水电第八工程局有限公司, 湖南 长沙 410004)

摘要:针对抽水蓄能电站地下厂房岩壁吊车梁混凝土工程质量要求高、施工难度大、施工条件复杂等问题,以厦门某抽水蓄能电站为例,探讨了岩壁吊车梁混凝土施工技术,通过采用跳仓浇筑和多工作面同步施工的策略,有效提升了岩壁吊车梁混凝土的施工速度,同时通过严格把控混凝土的浇筑温度与爆破开挖时间间隔,确保了混凝土的施工质量。工程实践验证表明该岩壁吊车梁混凝土施工技术在抽蓄电站地下厂房中的应用效果良好。

关键词:岩壁吊车梁;分块跳仓浇筑;温度控制;抽水蓄能电站

中图分类号:TV523 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2024)S1-0164-05

Concrete construction technology of rock wall crane beam in underground powerhouse of pumped storage power station//HOU Lian(*Sinohydro Engineering Bureau 8 Co., Ltd., Changsha 410004, China*)

Abstract: In view of the problems such as high quality requirements, significant construction difficulties and complex construction conditions for the concrete project of the rock wall crane beam in the underground powerhouse of pumped storage power stations, taking a certain pumped storage power station in Xiamen City as an example, this paper discusses the concrete construction technology of the rock wall crane beam. By employing strategies such as blocking alternate pouring and simultaneous construction across multiple work faces, the construction speed of the rock wall crane beam concrete was effectively increased. Additionally, by strictly controlling the concrete pouring temperature and the interval between blasting and excavation, the construction quality of the concrete was ensured. Engineering practice verification shows that the concrete construction technology of the rock wall crane beam performs well in the application in the underground powerhouse of the pumped storage power station.

Key words: rock wall crane beam; blocking alternate pouring; temperature control; pumped storage power station

岩壁吊车梁施工是一项集控制爆破技术、锚固技术、混凝土浇筑技术以及质量监测技术于一体的综合性施工技术,被广泛应用于国内外地下厂房建设中。该施工具有结构复杂、尺寸偏小、钢筋分布密集、施工难度大以及质量要求高等特点。鉴于施工环境的复杂性和工序的多样性,岩壁吊车梁的施工工期和质量受到爆破开挖、厂房围岩蚀变、开挖卸荷等多种工程现场条件的显著影响^[1-2]。在当前工程实践中,通过优化并调整爆破参数、严格控制开挖振动、精确控制混凝土浇筑和爆破开挖的施工间隔等方式,可以有效保障岩壁吊车梁的施工质量^[3]。岩壁吊车梁混凝土施工一般在岩壁梁层开挖完成后进行。在施工条件允许的情况下,采用多工作面同时浇筑、岩壁吊车梁与吊顶岩壁梁同时浇筑等方法,可在一定程度上缩短工期。与此同时,还应采取降低浇筑温度、表面保温、通水冷却等手段确保混凝土浇筑质量^[4-7]。本文以厦门某抽水蓄能电站为例,分析

岩壁吊车梁混凝土施工技术在抽水蓄能电站中的实施方式与应用效果。

1 工程概况

厦门某抽水蓄能电站的地下主副厂房洞总长度为 177 m,其下部开挖宽度为 25 m,上部开挖宽度为 26.5 m,最大开挖高度为 56.5 m。副厂房、机组段和安装场依次从右到左呈“一”字形布置于主副厂房洞内,其中机组段的长度为 112 m,安装场的长度为 45.0 m,副厂房的长度为 20.0 m,顶高程为 237.00 m,底高程为 180.50 m。

岩壁吊车梁混凝土布置于安装间与主厂房区域,其桩号范围从厂左 0+017.500~厂右 0+139.50。在上、下游方向上,吊车梁呈对称式布局(图 1)。每根梁的长度均为 157 m,宽度为 1.95 m,总高度为 2.8 m,底部高程为 220.30 m,顶部高程为 223.10 m。该岩壁吊车梁采用 C30 混凝土浇筑而成。

作者简介:侯炼(1973—),男,高级工程师,硕士,主要从事水利水电工程施工技术与管理研究。E-mail:42841334@qq.com

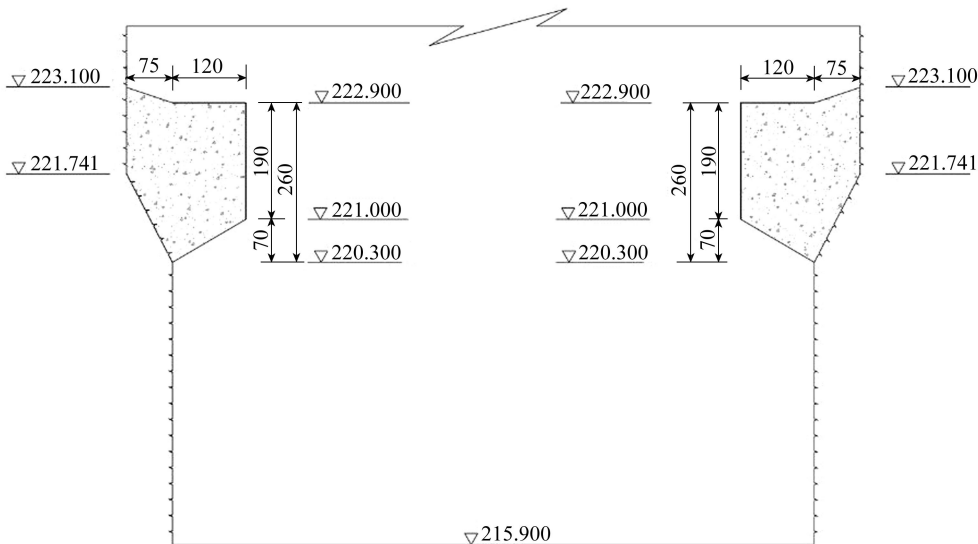


图1 地下厂房岩壁吊车梁剖面布置(高程单位:m,尺寸单位:cm)

工程区域位于亚热带海洋性季风气候区,享有温暖湿润的气候特点,雨量充沛,光照充足,这里冬季不存在严寒天气,夏季亦无酷热难耐的状况。每年的7~9月为台风季节,平均每年遭受5~6次台风的侵袭。根据同安区气象站的资料统计可知,该地区多年平均气温为21.4℃,极端最高气温达到39.0℃,极端最低气温则为0℃;多年平均相对湿度为76%,最小相对湿度仅为5%。

岩壁吊车梁所处部位无大的地质构造。大部分节理面与岩壁吊车梁走向所形成的夹角不小于30°,二者交角相对较大。节理的发育程度总体较低。岩壁吊车梁的岩石整体展现出较高的力学强度,整体结构较为完整,因此整体稳定性良好。

2 岩壁吊车梁混凝土施工技术

2.1 总体施工程序及流水划分

在岩壁吊车梁混凝土开展施工之前,应依次完成岩壁吊车梁下一层边墙的预裂爆破作业、岩壁吊车梁锚杆的施工作业并检测合格。岩壁吊车梁下一层梯段爆破开挖工作应在岩壁吊车梁混凝土浇筑28天且达到设计强度后方可进行。

岩壁吊车梁混凝土在上、下游方向的长度均为157m,混凝土分仓长度主要设定为12m。具体来看,上游部分由12块12m长的仓段和1块13m长的仓段组成,共计13块;下游部分同样由12块12m长的仓段和1块13m长的仓段组成,共13块。岩壁吊车梁混凝土施工分两个工序推进,从安装间至副厂房的方向,采用分块跳仓的方式进行浇筑,且上、下游同时开展施工作业。首先完成先浇块的施工,随后对施工缝面进行凿毛处理,之后再行后浇块的施工。

2.2 岩壁吊车梁混凝土浇筑工艺

2.2.1 开挖方案

在岩壁吊车梁层施工中,采用液压钻进行钻孔,实施梯段预裂爆破拉槽,其超前距离为30m。以岩壁梁下拐点下部边墙为界,预留厚度为3.5m的保护层。两侧保护层以及三角体岩台的开挖采用如下方案:将岩壁梁岩台的保护层划分为3层4块进行开挖。针对上拐点以上直墙设计轮廓线部位的光爆孔,采用手风钻进行钻孔,且在保护层第一层爆破前完成钻孔,并预埋PVC管予以保护。在岩壁梁岩台小三角体开挖过程中,采用在三角体斜墙面及上直墙面使用手风钻打斜孔和垂直孔的双向光面爆破技术。最后,采用1.8m³的反铲装载,由20t自卸汽车进行出渣作业。

2.2.2 施工工艺

岩壁吊车梁层混凝土的浇筑工艺流程如下:施工准备→基础面清理及键槽缝面凿毛→测量放样→脚手架搭设→模板安装与验收→混凝土拌制、运输→混凝土浇筑→脱模养护→成品保护。

2.2.2.1 施工准备

在厂房开挖边墙上,在高程222.75m和221.95m处分别布置了两排直径为25mm的短锚杆,其主要作用是对模板安装进行加固处理。在布置短锚杆时,要避开岩壁吊车梁锚杆所在位置,且要在岩壁吊车梁锚杆施工之前完成。

主厂房岩壁吊车梁层的开挖底板需进行整平与压实操作,在距离厂房上、下游边墙3m宽的范围内浇筑混凝土垫层,以此作为脚手架搭建的基础。

2.2.2.2 基础面清理及键槽缝面凿毛

通过人工方式清除混凝土浇筑区域内由爆破产生的裂隙、松动的岩石、墙脚的石渣和堆积物。针对

局部挖掘不足的地段,采用人工与风镐相配合的方式进行处理,随后使用高压风水枪冲洗岩面,确保岩面保持清洁、湿润,且不存在欠挖现象以及松动岩石。

在开展后浇块混凝土施工前,对与先浇块接缝处的混凝土表面进行凿毛处理,采用压力水或冲毛枪将其加工成毛面,以去除表面的乳皮和灰浆。在凿毛作业完成后,将接缝处清洗干净,使其保持清洁和湿润的状态。

2.2.2.3 测量放样

采用红外线激光定位技术进行精确放样,钻孔方位角采用地质罗盘控制,仰(倾)角运用几何法控制,采用全站仪进行测量放线。将岩壁吊车梁及其下方边墙的设计开挖线、岩壁吊车梁体型的控制点线标示在显眼且固定的位置上,确定钢筋绑扎、立模边线以及梁顶高程,并做好相应的标记。在模板安装以及钢筋绑扎的过程中,测量人员需进行细致的复核与校正,以保障施工的准确性与规范性。

2.2.2.4 脚手架搭设

根据设计图纸在混凝土底板面上设置垫板,其中木垫板的厚度不小于5 cm,宽度不小于20 cm。立杆在纵向和横向的间距分别为75 cm和40 cm,步距为100 cm。脚手架下部的扫地杆距离地面的距离为20 cm。在纵向和横向上均需从底部至顶部设置连续的竖向剪刀撑,纵向剪刀撑宽度为6跨,竖向剪刀撑的斜杆与地面的倾角为45°~60°。

2.2.2.5 模板安装与验收

在岩壁吊车梁层混凝土施工前,模板安装需按照如下程序进行:底模安装→钢筋及埋件安装与验收→侧模和堵头模板安装→模板验收。

梁体底模采用尺寸为18×1 220×2 440 mm(厚×宽×长)的维萨板,底模的加固主要依靠钢管承重排架予以支撑,并辅以直径为14 mm的圆钢拉模筋,拉模筋的间距为50 cm,其一端用“3”形扣与两根直径为48.3 mm的钢管相连,另一端与岩壁模板加固锚杆或系统锚杆牢固焊接,确保拉模筋均匀分布。

岩壁吊车梁外侧受力筋的净保护层厚度为40 mm,而靠岩壁侧受力筋的净保护层厚度则为50 mm。在底模安装完成后,按照次序进行钢筋的排列和绑扎,确保钢筋交叉点的连接按50%的间隔均匀绑扎。随后进行电缆埋管、排水钢管、桥机轨道一期埋件、桥机滑线埋件、监测仪器等预埋件的安装工作。

侧模选用与底模尺寸相同的维萨板。侧模加固主要采用直径为14 mm的圆钢拉模筋,拉模筋间距为60 cm,一端采用“3”形扣与双8#槽钢连接,另一

端与岩壁模板加固锚杆牢固焊接。侧模底部稳固地坐落于底模背枋上,在模板外侧设置5×10 cm的方木背枋,在背枋外侧设置纵向双8#槽钢,钢管采用拉模筋固定。

堵头模板采用免拆模板,并设置直径为12 mm的钢筋网,钢筋间距为20 cm。在混凝土分块跳仓施工期间,在施工缝处设置键槽,键槽模板同样设置直径为12 mm的钢筋网,钢筋间距为17.5 cm。这两类模板的钢筋网与免拆模板使用铅丝进行绑扎连接,确保牢固,并将所遇到的钢筋位置标识在免拆模板上,然后用电钻开孔,以便纵向筋穿过。

模板组装完成后,要求整个板面保持平整与光滑。在模板拼装的竖向缝处,应安装接缝条,且拼缝之间不允许有错台现象出现。另外,需在模板表面均匀涂刷脱模剂(色拉油)。

2.2.2.6 混凝土拌制、运输

岩壁吊车梁混凝土由拌和系统拌制而成。在混凝土水平运输环节,采用6~9 m³混凝土搅拌运输车,它们通过进厂交通洞进入厂房内的岩壁吊车梁的工作面。在垂直运输方面,采用25 t汽车吊搭配1 m³吊罐实现入仓操作。

2.2.2.7 混凝土浇筑

岩壁吊车梁的混凝土施工采用自下而上的方式进行分层浇筑,其浇筑层厚度控制在30~40 cm之间。在浇筑过程中,在下料孔内安置溜管,使溜管延伸至混凝土浇筑层面,以此有效控制混凝土的下料高度,防止混凝土产生离析现象。浇筑时尽量避开岩壁吊车梁的锚杆、结构钢筋以及混凝土梁体内的预埋件。混凝土浇筑必须保持连续性,对于已开仓段,必须一次性浇筑完毕,防止冷缝的形成。

2.2.2.8 混凝土养护、脱模及成品保护

模板面相较设计混凝土顶部高出5 cm,在混凝土浇筑收仓后12~18 h内,需及时进行蓄水养护。外露面可采用麻袋或棉被进行覆盖处理,确保岩壁吊车梁混凝土处于连续湿润状态,且养护时间不小于28 d。

为了有效控制爆破振动和飞石对新浇岩壁吊车梁混凝土可能造成的破坏,采取如下措施进行防护:①在岩壁吊车梁混凝土浇筑前,必须先实施厂房下层边墙的预裂爆破;②厂房下层的开挖施工需在爆破振动速度的允许范围内开展,并且要在新浇岩壁吊车梁混凝土达到28 d龄期强度后方可进行;③侧面模板和底模应在下一层岩体开挖作业完成后方可拆除。

2.3 岩壁吊车梁混凝土温度控制

在岩壁吊车梁混凝土的施工过程中,必须严格

执行温控和养护措施,确保混凝土浇筑过程中的内外温差不超过 20℃,同时混凝土入仓温度应控制在 18℃ 以下。为有效控制混凝土入仓温度,防止因混凝土内部温升而产生内部裂缝,在岩壁吊车梁混凝土浇筑过程中采取以下温控防裂措施:

a. 合理选择混凝土原材料,特别是选用级配良好的砂、石料,性能优良的缓凝高效减水剂以及优质的掺合料。

b. 实施骨料预冷措施,包括对骨料料堆进行遮阳覆盖,提高骨料堆放高度,从底层取料,预冷原材料以及对粗骨料进行冷水喷淋。

c. 在混凝土拌和与运输过程中严格控制温度。混凝土拌和时加入冰块,采用篷布包裹运输罐车的罐体以遮阳,必要时在混凝土入罐前使用约 5℃ 的冷却水对罐体及篷布进行预冷,然后再将已拌和的混凝土装入罐内并进行运输。

d. 在混凝土浇筑前,对仓面进行冲洗,以降低仓面环境、模板和钢筋的温度。此外,采用喷雾或洒水方式进一步降低仓面降温。

e. 合理组织生产,将岩壁吊车梁混凝土的浇筑作业安排在早间、夜间以及阴天等温度相对较低的时段进行,最大程度降低环境温度对混凝土温升的影响。根据仓面实际入仓强度配备适量的混凝土运输设备,避免长时间等待下料。在确保模板稳定的前提下,加快混凝土入仓速度,缩短混凝土浇筑时间,减少暴露时间,从而降低混凝土温度损失。

f. 混凝土浇筑完成后,采用表面蓄水养护方式。由于模板面相较设计混凝土顶部高出 5 cm,故可在岩壁吊车梁顶部进行蓄水养护,以促进散热。

g. 降低混凝土内外温差,防止表面裂缝的产生。为消减混凝土浇筑块初期水化热温升,以便更好地控制混凝土体最高温度,减小基础温差和内外温差,在混凝土中布置冷却水管进行通水冷却。冷却水管采用 DN25 镀锌钢管,水管外径为 25 mm。冷却水管分 2 层进行布置,层间距为 1.2 m,在平面上冷却水管位于混凝土中部。混凝土收仓后立即开始通水冷却,控制块体降温速度不超过 1℃/d,水温保持在 18℃~20℃,通水量为 1.2 L/h,每 24 h 改变一次水流方向,确保混凝土内部温降均匀。通水流量及通水水温可根据混凝土降温速度进行动态调整。通水冷却时长为 7~20 d,在此期间需对相关数据进行测量。在混凝土浇筑时,每仓至少安装 2 个温度计,前 3 d 内每 2 h 测量一次,3~7 d 内每 6 h 测量一次,7 d 后每 12 h 测量一次,持续测量 28 d。待混凝土浇筑仓面温度降至设计指标后,即可进行冷却水管回填灌浆施工。

3 实施效果

a. 岩壁梁混凝土施工在上、下游分别同时开设两个工作面,共计 4 个工作面,于 2020 年 10 月 6 日开始第一仓混凝土的浇筑作业,2020 年 11 月 20 日岩壁梁混凝土浇筑工作全部完成,总工期 46 d。

b. 岩壁梁混凝土模板采用维萨板,其外观质量整体较好,达到镜面混凝土效果。

c. 在模板安装环节,采用脚手架及拉模筋进行加固处理,确保了施工过程中模板的稳定性,未出现位移现象。

d. 岩壁梁混凝土全部浇筑完成后,经过 28 d 的养护,方可进行厂房下部开挖,并对爆破振动进行了监测。监测数据显示,岩壁梁混凝土质点的最大爆破振动速度为 7.57 cm/s,满足不大于 10 cm/s 的标准要求。

e. 通过对岩壁梁混凝土的温度监测,获取到相关数据:地下厂房内的气温维持在 25~28℃,而岩壁梁混凝土内部最高温度为 55.2℃。经分析计算,若将混凝土表面温度控制在 30℃ 左右,即可满足施工要求。

4 结 论

a. 岩壁吊车梁混凝土的分段浇筑长度以 8~12 m 为宜,通过对岩壁吊车梁混凝土进行合理分仓,充分利用地下厂房的较长长度以及岩壁吊车梁在地下厂房上、下游边墙的布局特点,采用跳仓法和上下游同时进行的多个作业面施工策略,可实现岩壁吊车梁的快速施工。

b. 在加固岩壁吊车梁混凝土模板时,除了采用钢管脚手架支撑外,还应在边墙上设置拉模筋,以提高模板系统稳定性,确保施工安全。此外,应另行设置短锚杆作为拉模筋,避免直接使用岩壁吊车梁的受拉及受压锚杆。

c. 岩壁吊车梁混凝土的浇筑采用汽车吊配合吊罐入仓,这种方法对控制混凝土的浇筑速度和温度具有显著效果。每段混凝土应一次性浇筑完成,施工前必须做好混凝土拌制、运输、电源等备用设备的准备工作。

d. 岩壁吊车梁混凝土的浇筑通常安排在地下厂房岩壁梁下层开挖之前进行,在浇筑前应先完成岩壁吊车梁下一层边墙的预裂作业,且下层爆破应在岩壁吊车梁混凝土达到 28 d 龄期后进行,这样可显著降低爆破振动对新浇混凝土的影响。岩壁梁混凝土浇筑完成后,可以利用侧模和底模对新浇混凝土提供有效保护,避免下层开挖爆破飞石对岩壁吊

车梁混凝土造成损伤。

e. 通过预冷混凝土骨料,选择合适的运输方式、浇筑时间、入仓方式、浇筑方法以及浇筑速度等,可以有效降低混凝土的入仓温度。同时,在梁体内埋设冷却水管并进行冷却通水,可以有效控制混凝土内外温差,防止裂缝的产生。

参考文献:

[1] 杨宜文,陈胜宏,赵志勇,等. 小湾工程岩壁吊车梁的关键技术问题研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(2): 251-257. (YANG Yiwen, CHEN Shenghong, ZHAO Zhiyong, et al. Study of key technical issues of rock-bolt crane girder for Xiaowan Project[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2013, 32 (2): 251-257. (in Chinese))

[2] 王丰, 饶宇. 地下厂房洞室群爆破对岩锚梁浇筑质量影响研究. 人民长江, 2019, 50(增刊 1): 312-316. (WANG Feng, RAO Yu. Research on influence of blasting in underground powerhouse cavern group on pouring quality of rock-anchored beams [J]. Yangtze River, 2019, 50(Sup1): 312-316. (in Chinese))

[3] 方柱柱, 刘骁, 邓雨露. 白鹤滩水电站左岸地下厂房岩壁吊车梁开挖技术研究[J]. 水利水电技术, 2017, 48(增刊 2): 35-39. (FANG Zhuzhu, LIU Xiao, DENG Yulu. Study on excavation technology of rock wall crane beam in left bank underground powerhouse of Baihetan Hydropower Station[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2017, 48(Sup2): 35-39. (in Chinese))

[4] 刘蕊, 余健, 白威. 电站厂房岩壁吊车梁开挖质量控制技术[J]. 水电与新能源, 2022, 36(2): 4-8. (LIU Rui, YU Jian, BAI Wei. Excavation quality control technology for crane beams on rock wall of powerhouse [J]. Hydropower and New Energy, 2022, 36(2): 4-8. (in Chinese))

[5] 王竹波. 抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁开挖施工技术研究 [J]. 工程技术研究, 2023, 8 (13): 64-66. (WANG Zhubo. Research on excavation construction technology of rock anchor beams in underground powerhouse of pumped storage power station [J]. Engineering and Technological Research, 2023, 8(13): 64-66. (in Chinese))

[6] 王南, 吴朝月, 张怀芝, 等. 丰宁抽水蓄能电站地下厂房岩壁吊车梁温控设计研究[J]. 水利水电工程设计, 2020, 39 (2): 1-5. (WANG Nan, WU Chaoyue, ZHANG Huaizhi, et al. Research on temperature control design of rock wall crane beam in underground powerhouse of Fengning Pumped Storage Power Station[J]. Design of Water Resources & Hydroelectric Engineering, 2020, 39 (2): 1-5. (in Chinese))

[7] 路绪栋. 高温环境下大体积混凝土的温度控制与裂缝预防方法[J]. 工程技术研究, 2024, 9(2): 137-139. (LU Xudong. Temperature control and crack prevention methods for mass concrete in high temperature environment [J]. Engineering and Technological Research, 2024, 9(2): 137-139. (in Chinese))

(收稿日期:2024 - 09 - 12 编辑:雷燕)

(上接第 139 页)

c. 一般情况下,人工挖孔桩应首先采用低应变法进行普测,随后通过声波透射法进行抽检。低应变法与声波透射法的结合使用能够进一步提高检测精度。

d. 如果低应变法检测到的波形复杂且与声波透射法的结果相符性欠佳,应分析原因,并进一步采用钻芯法进行有针对性的检测。在工地地质情况较差或施工质量存疑的情况下,应适当增加抽芯数量,而不必严格局限于检测规程中规定的比例。

5 结 语

工程桩质量检测方法各有其优势和局限性,在实际应用中应持科学、客观和慎重的态度。依据地质的复杂程度和具体的施工情况,合理选取检测方

法,取长补短,才能最大限度地提高检测精度,严格把好工程质量关。

参考文献:

[1] 沈建新. 论人工挖孔桩施工水患处理的技术[J]. 中外建筑,2007(7): 90-92. (SHEN Jianxin. On technology for water hazard treatment in construction of manually excavated piles [J]. Chinese & Overseas Architecture, 2007(7): 90-92. (in Chinese))

[2] 李锦彬,张志阳. 某工程钻孔桩和人工挖孔桩质量事故分析及处理[J]. 广东土木与建筑,2001(7): 46-47. (LI Jinbin, ZHANG Zhiyang. Analysis and treatment of quality incidents for bored piles and manually excavated piles in a project [J]. Guangdong Architecture Civil Engineering, 2001(7): 46-47. (in Chinese))

(收稿日期:2024 - 09 - 10 编辑:雷燕)