

港珠澳大桥减光建筑设计及施工探讨

杨卫国, 田睿

(港珠澳大桥管理局, 广东 珠海 519000)

摘要: 隧道洞口减光措施直接影响驾驶员的舒适度和行车安全, 是隧道建设中的重难点。通过对港珠澳大桥减光建筑设计施工的综述, 系统介绍大桥减光建筑所具备的功能要求, 简要叙述了减光建筑施工工艺及质量验收标准, 可供后续外海隧道洞口减光措施的设计和施工提供參考。

关键词: 减光建筑; 方案比较; 施工工艺; 验收标准

中图分类号: U455.46; U459.5

文献标志码: A

文章编号: 2095-7874(2018)05-0016-04

doi: 10.7640/zggwjs201805004

Design and construction discussion on light-weakening buildings of the Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge

YANG Wei-guo, TIAN Rui

(Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge Authority, Zhuhai, Guangdong 519000, China)

Abstract: The light-weakening measures of tunnel entrance directly affect the comfort and safety of the driver, which is a difficult problem in tunnel construction. Through a summary of the design and construction of the light-weakening buildings of the Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge, we introduced the functional requirements of the light-weakening building of the bridge, described its construction technology and quality acceptance standard, which can provide references for the design and construction of the light-weakening measures in tunnel entrance in subsequent offshore tunnel.

Key words: light-weakening buildings; programme comparison; construction technology; acceptance criteria

1 工程概况

1.1 项目特点

港珠澳大桥起于香港大屿山散石湾, 在澳门明珠和珠海拱北登陆, 全长 35 km, 采用桥岛隧组合方案, 其中隧道长度为 5.99 km, 桥隧通过外海填筑东、西人工岛进行转换。为改善行车环境, 确保行车安全以及节能降耗, 满足绿色环保的需求, 同时景观工程需要达到建筑与自然的和谐统一, 港珠澳大桥在隧道口处设置了减光建筑^[1]。在施工阶段, 为满足上述功能和需求, 对原初步设计方案进行了优化, 采用了钢结构格栅形式, 坐落在港珠澳大桥岛隧工程人工岛隧道敞开段外墙与中隔墙顶部(出入口上方)。钢结构主体结构分

为横梁、纵梁和立柱三大部分构件, 横梁一端与立柱连接, 另一端与纵梁连接, 呈“门形”构架结构, 构架间距、高度依次递减, 起到减光效果。构架立柱在水平面上旋转 45°, 横梁在竖直平面上倾斜 45°, 构架立柱底部埋入隧道口外侧墙的混凝土中, 形成三维度空间结构。主结构总重约 1 195 t, 主要材质为 Q345qCNH 耐候钢, 板厚主要是 10 mm、16 mm、20 mm、25 mm、40 mm; 预埋件总重约 32 t, 主要材质为 Q235 的角钢。具体见图 1。

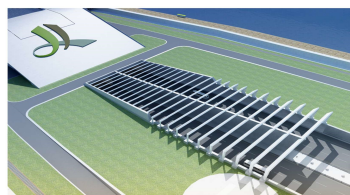


图 1 减光建筑实体效果图

Fig. 1 Effect diagram of light-weakening building entity

收稿日期: 2018-03-01

作者简介: 杨卫国 (1971—), 男, 湖北仙桃人, 高级工程师, 从事路桥施工技术管理。E-mail: 466235618@qq.com

1.2 国内隧道洞口减光建筑的主要设计形式

国内隧道洞口减光建筑的常见主要结构设计形式有遮阳棚、遮光棚、遮光板、通透式棚洞以及利用洞口植被或景物等^[2-3],但对隧道洞口减光建筑的理论研究相对较少,近年来随着隧道工程建设增多也相应有所增加。据报道,对隧道洞口的减光建筑进行深入研究的工程案例,有南京长江隧道(两端洞口设有遮光棚)、上海市复兴路隧道(两端洞口设有遮光板)、南京维七路过江隧道(两端洞口设有遮阳棚)、上海西藏南路隧道(隧道入口设有太阳能光伏板与垂直绿化相结合的光过渡段)、秦岭隧道(隧道口采用绿化和广告牌)以及武汉长江隧道等隧道工程。减光建筑的形式选择,除考虑减光效果满足行车安全和舒适性外,还需综合考虑节能减排以及景观和谐、投资成本和运营管理等现代管理理念和因素,目前国内基本选择结构简单、减光稳定的遮光棚较多。本项目初步设计时采取遮阳棚的结构形式,后续随着工程建设深入和对本项目所处地理位置和环境条件认识深入,对原设计结构进行了优化,由遮阳棚改为遮光棚,且主体结构在形式上有所突破,采用了全钢结构格栅。

2 项目初步设计与施工图设计的变化

2.1 原初步设计方案

原初步设计时,减光建筑采用轻型光栅钢结构的遮阳棚形式。光栅钢结构由无缝钢管(或卷制钢管)构成,横向斜置椭圆拱轴线为椭圆弧拱管;纵向连接主要采用钢管和钢桁架形式。光栅钢架表面按建筑要求覆以遮光板或采光板达到光过渡效果。初步设计时,主要材料为 $\phi 700 \times 16$ mm 镀锌无缝钢管、2 mm 厚钝化处理的镀锌钢板(遮光板)和2 mm 厚 FRP(采光板)。详见图 2。



图 2 减光建筑初步设计效果图

Fig. 2 Preliminary design renderings of light-weakening buildings

2.2 两方案比较分析

初步设计阶段和施工图设计阶段,对减光建筑在总体结构形式以及材料组成、主体构造、施工工艺上都发生了根本性的变化,其主要是对项目深入了解以及结合土建、交通设施、景观美学和节能减排等具体需求进行的优化或变更。以下主要从结构功能 6 大方面对方案进行比较分析。

1) 抗风性能:原初步设计采用轻型钢结构的屋架性结构,顶面及侧面呈封闭状态,受风面积较大;优化设计后采用重型格栅钢结构,结构受风面积小,且自身抗风等级较高。

2) 汇水面积及汇水量:主要针对雨水对隧道路面汇水影响进行分析。原初步设计采用封闭式圆顶,可以有效排除减光建筑覆盖面的雨水顺流进入隧道;现施工图设计采用开口的格栅结构,增大了减光建筑覆盖面的汇水面积和汇水量。在设计施工阶段,设计对增加汇水量进行仔细核算,汇水面积和汇水量增加不大,在隧道洞口增加 1 道截水沟和侧墙外增加 1 座雨水泵房加以解决。

3) 洞口亮度变化及照明设计:原初步设计减弱自然光亮度,需采用灯光照明等措施加以解决;但该结构不会因日照投射造成地面阴影,引起驾驶员视觉上的变化,也就是频闪效应。现施工图设计减光效果好,不受自然环境因素影响;但是因格栅结构尺寸较大,受日照影响,结构在路面形成投射阴影,产生斑马线条,这是否会引起驾驶员对频闪的不适应,为此专门进行了《港珠澳大桥隧道减光罩减光效果及对行车影响评价研究》^[4],研究报告明确该优化的减光建筑在满足减光效果的同时,产生的“频闪效应对驾驶员行车安全以及视觉舒适度的影响处于可控范围”。

4) 行车安全及舒适性:2 套设计方案均能满足该功能,在试通车阶段,驾驶员反馈良好。

5) 节能降耗:原初步设计采用全封闭结构,对隧道周边环境起到一定的隔声作用,但增加隧道封闭段长度,不利于隧道内通风、消防,顶部大面积嵌装透光材料,增加光污染;同时后续施工需增加灯光照明、排风设备(轴流风机)以及消防系统等设施,且后期运营期间维护工作量大。现施工图设计采用格栅结构未增加隧道通风段长度,运营期间维护工作量小,且地处外海环境,受海风及周围环境的影响,不会造成噪音污染,但需考虑景观灯的设计。

6) 建筑景观美学: 原初步设计在景观美学上考虑在岛面大量种植绿化植物来与岛上建筑达到整体和谐效果, 但岛上绿化面积太大, 占用公共区域大, 且不利养护, 浪费水资源; 现施工设计结合岛上建筑系统功能性的调整, 使整个岛体兼顾了供水、供电、消防、监控、照明以及隧道通风、排烟、防灾救援和旅游观光等功能, 通过优化设计, 除满足该功能的变化外, 还充分释放岛上面积空置率和整体岛上建筑景观和谐, 使整个岛上建筑既简洁又不失大气, 既庄重又不失柔和。

通过对原初步设计和现设计施工的比对分析, 现设计更能体现本项目特点, 也更体现时代发展的需要。除满足洞口减光和行车安全的基本功能外, 更能体现节能降耗以及建筑景观美学等优点。

3 施工工艺

3.1 钢结构制作

3.1.1 制作工艺流程

减光建筑加工构件分为立柱、横梁、纵梁 3 个主要部分, 加工完成并验收合格后驳运至现场安装。加工过程中, 重点控制立柱和横梁的角度匹配性。在完成焊接工艺评审后, 严格按制作工艺流程图进行加工制作。主要制作工艺流程为: 钢板进场检验→预处理→放样、切割→板单元加工→组装板单元(含胎架工装加工)→涂装→验收出运。

3.1.2 质量控制要求

本项目主体结构纵梁和横梁设计均为窄面箱体结构, 且箱体内隔板较少, 极易产生焊接变形。为确保箱体制造精度, 主要从以下几个方面进行质量控制。

1) 焊接工艺控制: 制定焊接工艺操作手册。焊接前, 组织专门焊工和设备, 开展焊接工艺评定试验, 并完成焊接工艺评定试验方案专家评审及修订后, 形成系统操作手册用来指导后续施工。

2) 装配工艺控制: 采用侧装法。即一侧腹板单元放置于胎架上, 依次放置隔板、盖底板单元组成三面成型箱体, 最后装配另一侧腹板, 箱体四面成型。装配焊接时, 通过码板固定箱体直线度, 焊接时严格按焊接工艺操作手册执行, 同时主焊缝焊接时由中间向两端同时对称焊接。

3) 工装胎架控制: 专门设计翻身胎具以及吊具。

3.2 钢结构安装

3.2.1 作业流程

现场安装包括从运输船靠东人工岛卸船码头到总装结束的全过程, 主要作业流程见图 3。

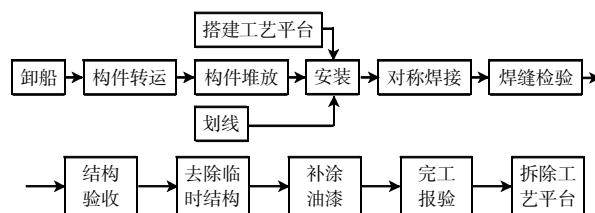


图3 减光建筑安装主要作业流程图

Fig. 3 Main operation flow chart of the light-weakening building installation

3.2.2 安装工艺

1) 划线: 在安装前, 复测控制网及各项尺寸^[9], 对各类部件的安装位置进行划线。在整个安装过程中, 需依据预埋件的位置, 精确划线, 确保现场安装的质量及精度。测量划线采用与全岛统一的坐标系, 减光建筑安装轴线采用全站仪测量划线实现, 各构件的安装位置在墙体上做明显标记, 划线时需控制好立柱偏转角度及中心轴线位置和相对高程等指标。

2) 纵梁安装: 纵梁安装前对墙体上表面的高程进行测量, 对偏离理论高程值的位置进行打磨或者垫不锈钢垫片处理。构件安装前仔细核对尺寸等参数, 确认无误后组织安装作业, 吊装采用 90 t 履带吊进行。纵梁吊装至中隔墙顶部调整、精确定位后, 施工人员按要求进行施焊, 先焊接纵梁两侧立焊缝, 再焊接底板对接焊缝。

3) 立柱安装: 立柱正式安装前, 将立柱基坑内调整螺母调整到预定高度, 并测量上表面的高程与水平, 满足要求后, 通过吊车将立柱安装定位, 拧紧立柱底部螺栓, 安装调节缆风绳后方可松钩; 然后利用立柱上 2 根调节缆风绳, 精确调节立柱安装角度, 并确保构件稳定。

4) 横梁安装: 利用吊车将横梁缓慢升至安装位置后, 先调整与立柱侧对接, 再调整横梁与纵梁对接。横梁与立柱对接时, 通过调整立柱缆风绳或横梁吊装时安装在两端的缆风绳调整立柱小节段与对接的横梁四个面在同一平面内(直靠尺测量); 横梁与纵梁为搭对接, 调整横梁顶部直角轮廓线与纵梁垂直, 且南北车道横梁顶部轮廓线在同一直线上, 如整体调整对位无法满足两车

道横梁顶部轮廓在同一直线上时,调整立柱横向轴线定位,以保证安装的线形呈直线。安装过程中,需确保横梁的倾斜角度满足设计要求。对接完成且通过码板固定对接端口,人工焊接成型。

5) 涂装施工:钢结构安装完成、焊缝检测合格后进行焊缝处补涂装作业。涂装前清理基面,涂装完成后进行涂层检测。现场安装效果见图4。



图4 涂装后减光建筑安装成品图

Fig. 4 Installation of finished light-weakening buildings after coating

4 验收标准的制定

港珠澳大桥岛隧工程减光建筑结构尺寸大,且为三维空间结构,其基础为岛上敞开段隧道的侧墙与中隔墙,整体结构形式复杂,立柱与基础预埋件采用螺栓连接后再浇筑混凝土,横梁与纵梁及立柱采用焊接形式,形成整体结构。该结构在满足结构安全和使用功能要求前提下,须充分考虑整体建筑的景观效果。在“首件制”安装结束后,经过现场实测实量,发现原设计要求参照GB 50205—2001《钢结构工程施工质量验收规范》^[6]的实测项目及允许偏差,不适宜本项目减光建筑三维空间结构的特点,在对“首件制”成果进行分析总结后,制定了适合港珠澳大桥减光建筑安装质量验收标准^[7](表1),专用质量验收标准在原设计要求的基础上对减光建筑安装后实测项目进行规定。

5 结语

1) 港珠澳大桥隧道减光建筑经检验,完全满足行车安全和节能降耗以及建筑景观美学的要求。

2) 根据对项目深入了解,适时对原初步设计方案进行优化调整是合适的,确定采用遮光格栅的结构形式值得后续建设隧道工程借鉴。

表1 减光建筑安装质量验收标准

Table 1 Installation quality acceptance standard of light-weakening buildings

序号	实测项目	允许偏差
1	横梁上棱边直线度	$\leq 10 \text{ mm}$
2	横梁倾斜角度	1°
3	立柱内侧棱边垂直度	$H/1\ 000$ 且不应大于 10 mm
4	立柱与纵梁之间开档尺寸	$\pm 10 \text{ mm}$
5	纵梁中心偏移轴线位置 (纵梁安装的整体直线度)	5 mm
6	框架上表面棱边高程偏差	$0 \leq H \leq 10 \text{ mm}$

3) 项目推行“首件制”质量管控手段并结合实际对原不完全适宜本项目的验收标准进行修订的做法,值得后续工程建设进行推广。

参考文献:

- [1] 中交公路规划设计院有限公司. 港珠澳大桥主体工程岛隧工程施工图设计: 东人工岛隧道现浇敞开段[R]. 2014. CCCC Highway Consultants Co., Ltd. Construction drawing of island and tunnel project of Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge: The open section of the east island[R]. 2014.
- [2] 潘贝贝, 翁季. 公路隧道洞口减光措施的研究综述[J]. 灯与照明, 2013, 37(3): 18-23. PAN Bei-bei, WENG-Ji. Review of the measures for reducing light in the tunnel entrance of highway tunnel[J]. Light & Lighting, 2013, 37(3): 18-23.
- [3] 彭子晖. 隧道自然光过渡设计浅议[J]. 地下工程与隧道, 2013(2): 8-11, 60. PENG Zi-hui. Discussion on the transition design of natural light in tunnel[J]. Underground Engineering and Tunnels, 2013(2): 8-11, 60.
- [4] 同济大学交通运输工程学院. 港珠澳大桥隧道减光罩减光效果及对行车影响评价研究报告[R]. 2017. Transportation Engineering College of Tongji University. Evaluation research report on the light reduction effect in Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge tunnels and its influence on driving[R]. 2017.
- [5] JTG/T F50—2011, 公路桥涵施工技术规范[S]. JTG/T F50—2011, Technical specification for construction of highway bridge and culverts[S].
- [6] GB 50205—2012, 钢结构工程施工质量验收规范[S]. GB 50205—2012, Code for acceptance of construction quality of steel structure[S].
- [7] 港珠澳大桥管理局. 港珠澳大桥主体工程隧道工程施工及质量验收标准[S]. 2017. Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge Authority. Construction and quality acceptance criteria for tunnel project of Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge main project[S]. 2017.