

作为国家标准化管理委员会、中国科学技术协会团体标准双试点单位,中国公路学会积极贯彻国务院《深化标准化工作改革方案》(国发〔2015〕13号)的要求,立足交通运输行业公路交通领域,于2015年6月正式启动团体标准工作。同时,中国公路学会标准工作得到了交通运输部的大力支持,并正式写入交通运输部《交通运输标准化“十三五”发展规划》。

中国公路学会严格按照学会标准管理办法及团体标准良好行为指南要求对标准化工作进行管理,遵循开放、公平、透明、协商一致的原则,突出团体标准贴近实际、注重实用的特点,充分发挥密切跟踪行业科技创新进程、及时了解市场技术发展需求的优势,为交通运输行业公路交通领域提供优质的标准,促进行业技术进步,并打造中国公路学会标准品牌。

获取更多学会标准资讯请关注“中国公路学会标准”微信公众号(微信号:CHTS-standard)。

本标准版权为中国公路学会所有。除用于国家法律法规规定用途,或事先得到中国公路学会文字上的许可,不得以任何形式擅自复制、改编、汇编、翻译、发行或传播本标准。

中国公路学会地址:北京市朝阳区安华路17号院1号楼

电话:010-64288712

网址:<http://www.chts.cn/>

电子信箱:CHTS-S@qq.com

团体标准

港珠澳大桥节能减排技术指南

Technical Guideline for Energy Saving and Emission Reduction  
of Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

T/CHTS 10049—2022

主编单位：港珠澳大桥管理局

北京交科公路勘察设计研究院有限公司

发布单位：中国公路学会

实施日期：2022年02月28日

人民交通出版社股份有限公司

北京

标准类型：团体标准

Gang-Zhu-Ao Daqiao Jieneng Jianpai Jishu Zhinan

标准名称：港珠澳大桥节能减排技术指南

标准编号：T/CHTS 10049—2022

主编单位：港珠澳大桥管理局

北京交科公路勘察设计研究院有限公司

责任编辑：郭红蕊 韩亚楠

责任校对：孙国靖 扈 婕

责任印制：刘高彤

出版发行：人民交通出版社股份有限公司

地 址：(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址：<http://www.ccpcl.com.cn>

销售电话：(010)59757973

总 经 销：人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销：各地新华书店

印 刷：北京鑫正大印刷有限公司

开 本：880×1230 1/16

印 张：2

字 数：32千

版 次：2022年2月 第1版

印 次：2022年2月 第1次印刷

统一书号：15114·3975

定 价：40.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

# 中国公路学会文件

公学字〔2022〕11号

## 中国公路学会关于发布 《港珠澳大桥节能减排技术指南》的公告

现发布中国公路学会标准《港珠澳大桥节能减排技术指南》(T/CHTS 10049—2022),自2022年2月28日起实施。

《港珠澳大桥节能减排技术指南》(T/CHTS 10049—2022)的版权和解释权归中国公路学会所有,并委托主编单位港珠澳大桥管理局负责日常解释和管理工作。

中国公路学会

2022年2月14日



## 前 言

港珠澳大桥是集桥—岛—隧为一体的跨海集群工程。本指南是在总结港珠澳大桥节能减排研究成果[国家科技支撑计划《跨境隧—岛—桥节能减排关键技术研究》(2011BAG07B05)等]和实践经验的基础上编制而成。

本指南按照《中国公路学会标准编写规则》(T/CHTS 10001)编制。本指南共分6章,主要包括总则、术语、工程节能减排核算、照明系统节能、沉管隧道通风系统节能、供配电系统节能。

本指南实施过程中,请将发现的问题和对指南的意见、建议反馈至港珠澳大桥管理局(地址:广东省珠海市横龙路368号;邮编:519060;联系电话:0756-2191876;电子邮箱:lgh@hzmbo.com),供修订时参考。

本指南由港珠澳大桥管理局提出。受中国公路学会委托,由港珠澳大桥管理局负责具体解释工作。

**主编单位:**港珠澳大桥管理局、北京交科公路勘察设计研究院有限公司。

**参编单位:**招商局重庆交通科研设计院有限公司、交通运输部公路科学研究院。

**主要起草人:**苏权科、杨秀军、周永川、张昊、邢燕颖、陈忠、王小军、乔梅梅、鲁华英、王少飞、史玲娜、汤召志、陈晓利、张晋阳、成亮、石志刚。

**主要审查人:**王晓曼、颜静仪、李炎峰、胡彦杰、周海涛、闫志国、张雯、王明年、陶双成、高龙。



## 目 次

1	总则 .....	1
2	术语 .....	2
3	工程节能减排核算 .....	3
3.1	一般要求 .....	3
3.2	建设期内源核算 .....	3
3.3	建设期外源核算 .....	6
3.4	运营期内源核算 .....	8
3.5	运营期外源核算 .....	9
3.6	节能减排核算系统 .....	9
4	照明系统节能 .....	10
4.1	一般要求 .....	10
4.2	照明参数 .....	10
4.3	系统方案 .....	11
4.4	照明控制 .....	11
4.5	设备选型 .....	12
4.6	运营节能 .....	13
5	沉管隧道通风系统节能 .....	14
5.1	一般要求 .....	14
5.2	通风关键参数 .....	15
5.3	系统方案 .....	16
5.4	设备选型 .....	17
5.5	运营节能 .....	17
6	供配电系统节能 .....	18
6.1	一般要求 .....	18
6.2	系统方案 .....	18
6.3	供电质量 .....	19
6.4	设备选型 .....	20
	用词说明 .....	22



# 港珠澳大桥节能减排技术指南

## 1 总则

1.0.1 为规范港珠澳大桥建设期和运营期节能减排工作,推动跨海集群工程节能减排技术发展,制订本指南。

1.0.2 本指南适用于港珠澳大桥建设期和运营期的节能减排核算与评估、设计与施工,类似跨海集群工程可参照使用。

1.0.3 港珠澳大桥节能减排工作应贯彻“技术先进、经济合理、低碳环保”的原则。

1.0.4 桥—岛—隧供配电系统、照明系统及沉管隧道通风系统的节能减排与总体方案相关部分应纳入工程总体设计。

1.0.5 跨海集群工程节能减排工作应积极稳妥地采用新技术、新工艺、新材料、新设备。

1.0.6 港珠澳大桥节能减排除应符合本指南的规定外,尚应符合有关法律、法规及国家、行业现行有关标准的规定。

**条文说明:**港珠澳大桥已经建成通车,在这期间国家相关标准(规范)也进行了修正或者发布了新的标准(规范)。本指南有些技术要求存在与现行标准(规范)不一致,以国家颁布的标准和规范为准。

## 2 术语

### 2.0.1 沉管隧道 immersed tunnel

水域中主要由若干预制完成的基本结构单元,将其通过浮运、沉放、水下对接形成的隧道。[来源:《沉管法隧道设计标准》(GB/T 51318—2019)]

### 2.0.2 节能减排核算 energy saving and emission reduction accounting

针对由于优化工程设计方案和提升工程建设管理等原因而产生的能源节约、温室气体和污染物排放减少等进行定量核算。

### 2.0.3 内源核算 endogenous accounting

工程建设运营过程本身直接产生能源消耗、温室气体排放和污染物排放的定量核算。

### 2.0.4 外源核算 exogenous accounting

工程建设运营投入的材料在其生产过程中产生能源消耗、温室气体排放和污染物排放的定量核算。

### 2.0.5 物料平衡 mass-balance equation

在一个化学平衡体系中,某一给定物质的总浓度(即分析化学浓度)与各有关形式平衡浓度之和相等。

### 2.0.6 灯具效能 luminaire efficacy

在规定的工况条件下,灯具照射到所需照明区域的光通量与灯具功率(含电源功率)之比。

### 2.0.7 隧道静电集尘设备 tunnel electrostatic dust collection equipment

通过高压电形成静电感应,将隧道内烟雾等悬浮颗粒物加以吸收的净化空气装置。

### 2.0.8 脱硝装置 gas denitrification equipment

采用催化剂等方法对空气中  $\text{NO}_x$  进行无公害处理的装置。

### 2.0.9 高压细水雾降温设备 high pressure water mist cooling equipment

通过高压将水雾化形成粒径为  $10\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$  的微粒,实现降温效果的装置。

### 3 工程节能减排核算

#### 3.1 一般要求

3.1.1 节能减排核算应对工程建设期和运营期的全生命周期进行分类和统筹分析。

**条文说明:**建设期和运营期的节能减排效果具有一定的相互转换关系。建设期采取的某项技术措施在建设期可能会产生大量能源消耗、温室气体和污染排放,但运营期节能减排效果明显;有些技术措施则相反。整体工程的节能减排效果宜从全生命周期进行总体考虑,也需要结合工程总体目标和阶段任务对建设期和运营期进行统筹考量。

3.1.2 工程节能减排核算对象应包括沉管隧道工程、人工岛工程、跨海桥梁工程和交通工程及沿线设施等主要分项工程,并以分项工程为核算单元。

3.1.3 核算单元节能减排应对全生命周期的内源和外源两个部分分别核算。

3.1.4 工程节能减排核算应包括:综合能耗量、二氧化碳排放量、大气污染物排放量、水污染物排放量。

#### 3.2 建设期内源核算

3.2.1 工程建设期内源核算应涵盖沉管隧道工程、人工岛工程、跨海桥梁工程和交通工程及沿线设施等核算单元。

3.2.2 核算内容应包括综合能耗量、二氧化碳排放量、大气污染物排放量和水污染物排放量的分项核算及总量核算。

3.2.3 建设期各分项工程的综合总能耗可采用公式(3.2.3)计算:

$$N = \sum_{i=1}^n a_i N_i \quad (3.2.3)$$

式中: $N$ ——工程建设中的能源消耗总量(tec/t);

$N_i$ ——第*i*类能源消耗量(t);

$a_i$ ——第*i*类能源的折标系数;

$i, n$ ——第*i*类能源,共有*n*类。

**条文说明:**在对各分项工程的燃料消耗量进行分类汇总后,按照《综合能耗计算通则》(GB/T 2589—2020),将建设过程中消耗的各种能源,包括原煤、标煤、汽油、柴油、煤焦油、电等统一折算为标准煤。各类能源的发热量和折标煤系数如表 3-1 所示。

表 3-1 港珠澳大桥工程建设内源能耗核算系数

能源名称	平均低位发热量	折标准煤系数
原煤	20934kJ/kg(5000kcal/kg)	0.7143kgce/kg
标煤	29307.6kJ/kg(7000kcal/kg)	1.0kgce/kg
汽油	43124kJ/kg(10300kcal/kg)	1.4714kgce/kg
柴油	43705kJ/kg(10200kcal/kg)	1.4571kgce/kg
煤焦油	33494kJ/kg(8000kcal/kg)	1.1429kgce/kg
电力(当量值)	3596kJ/kg[(860kcal/(kW·h)]*	0.1229kgce/(kW·h)

注:\*指按当年火电发电标准煤计算的平均低位发热量。

3.2.4 建设期内源二氧化碳排放量可采用排放系数法,按公式(3.2.4)计算:

$$\beta_{\text{CO}_2} = V \times C \times \eta \times 10^{-9} \times (44/12) \quad (3.2.4)$$

式中: $\beta_{\text{CO}_2}$ —— $\text{CO}_2$  排放系数( $\text{kgCO}_2/\text{kg}$ );

$V$ ——燃料平均低位发热量( $\text{kJ/kg}$ );

$C$ ——单位热值含碳量( $\text{tC/TJ}$ );

$\eta$ ——碳氧化率。

**条文说明:**对各分项工程的燃料消耗量进行分类汇总。港珠澳大桥项目主要按照《综合能耗计算通则》(GB/T 2589—2008)和《省级温室气体清单编制指南》(发改办气候[2011]1041)对建设期燃料消耗产生  $\text{CO}_2$  进行汇总核算。工程建设过程的电力消耗没有直接排放温室气体和污染物,不列入内源核算,但列入外源核算。燃料燃烧的  $\text{CO}_2$  排放系数可参照表 3-2。

表 3-2 燃料燃烧的  $\text{CO}_2$  排放系数

能源种类	平均低位发热量 ( $\text{kJ/kg}$ )	单位热值含碳量 ( $\text{tC/TJ}$ )	碳氧化率	$\text{CO}_2$ 排放系数 ( $\text{tCO}_2/\text{t}$ )
原煤	20908	26.37	0.94	1.90
重油	41816	21.1	0.98	3.17
汽油	43070	18.9	0.98	2.93
柴油	42652	20.2	0.98	3.10

注 1:上表前两列来源于《综合能耗计算通则》(GB/T 2589—2008)。  
注 2:上表后两列来源于《省级温室气体清单编制指南》(发改办气候[2011]1041)。

3.2.5 建设期内源大气污染排放核算应采用物料平衡法确定各类工程物料的排放系数。主要核算应包括  $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}$  等大气污染物,具体计算如下:

1  $\text{SO}_2$  排放系数可按公式(3.2.5-1)计算:

$$G_{\text{SO}_2} = 2 \times 0.8 \times B \times S \quad (3.2.5-1)$$

式中: $G_{\text{SO}_2}$ —— $\text{SO}_2$  排放系数;

$B$ ——燃料消耗量( $\text{t}$ );

$S$ ——燃料的全硫分含量(%)。

式中燃料中全硫分含量值,可参考相应的统计资料。

2  $\text{CO}$  排放系数可按公式(3.2.5-2)计算:

$$G_{\text{CO}} = 2.33 \times B \times C \times Q \quad (3.2.5-2)$$

式中: $G_{\text{CO}}$ ——燃料的  $\text{CO}$  排放系数( $\text{t}$ );

$B$ ——燃料量( $\text{t}$ );

$C$ ——燃料中碳含量(%);

$Q$ ——燃料燃烧不完全值(%)。

式中各种煤炭中碳含量和燃煤燃烧不完全值,可参照《燃料燃烧排放大气污染物物料衡算办法(暂行)》(按照国家环保总局《关于……的通知》(环发[2003]64号)中有关排放污染物物料衡算的规定制定)执行。

3 NO<sub>x</sub>排放量可按公式(3.2.5-3)计算:

$$G_{\text{NO}_x} = 1.63B(\beta \times \eta + 10^{-6}V_y \times C_{\text{NO}_x}) \quad (3.2.5-3)$$

式中:  $G_{\text{NO}_x}$ ——燃烧生成的氮氧化物(t);

$B$ ——耗煤量(t);

$\beta$ ——燃烧氮向燃料型 NO 的转变率(%);

$\eta$ ——燃料中的氮含量(%);

$V_y$ ——1kg 燃煤生成的烟气量(Nm<sup>3</sup>/kg);

$C_{\text{NO}_x}$ ——燃烧时生成的温度型 NO 的浓度(mg/Nm<sup>3</sup>)。

NO<sub>x</sub>排放量也可按公式(3.2.5-4)简化计算:

$$G_{\text{NO}_x} = 1.63B(0.25 \times 0.015 + 0.000938) \quad (3.2.5-4)$$

**条文说明:**污染物的排放系数是参与工程建设的物料的产污系数,表征对大气污染的贡献程度。通过各类物质纯度含量系数,叠加该项污染物的排放系数和物质总量,可以核算出污染物的排放数量。在分类汇总工程建设过程中的能源消耗基础上,参照国家环保总局于 2003 年颁布的《燃料燃烧排放大气污染物物料衡算办法(暂行)》和相关文献,综合考虑后确定相关参数,对各分项工程的污染物排放进行核算。

燃料燃烧过程中 SO<sub>2</sub> 的排放与燃料的含硫量密切相关,排放系数可根据硫元素守恒的规律算出。原油、轻油、重油的全硫分含量引自《燃料燃烧排放大气污染物物料衡算办法(暂行)》,煤和柴油的全硫分含量为估计值。

一氧化碳(CO)是由于燃料燃烧不完全产生的污染物,它的产生量与煤的碳含量和燃烧不完全值相关。普通燃煤的不完全值取各种燃煤平均值的 3.5%,含碳量取各种煤炭平均值的 75%。

燃料燃烧过程中产生的 NO<sub>x</sub> 与具体的燃烧条件密切相关。根据 1985 年国家环保局组织编写的《环境统计手册》,工程建设中的燃料消耗量,采用燃烧过程产生 NO<sub>x</sub> 的一般规律进行排放量估算。

各种燃油的氮转化率取经验值 40%。各种燃料的氮含量和氮转化率可参考表 3-3。

表 3-3 燃料的氮含量和氮转化率

燃料种类	氮含量(%)	氮转化率(%)
煤	1.5	25
重油	0.14	40
柴油	0.08	40
汽油	0.02	40

3.2.6 建设期内源水污染排放核算因子应包括生化需氧量(BOD<sub>5</sub>)、化学需氧量(COD)、石油类和氨氮,宜采用物料平衡法进行核算。核算系数应符合现行《污水综合排放标准》(GB 8978)的规定。

**条文说明:**根据新鲜用水量即可得出污水排放量,再根据污水中各类污染物的浓度即可算出污染物的排放量。在统计各分项工程建设过程中的水消耗量基础上,根据《第一次全国污染源普查城镇生活源排污系数手册》(国务院第一次全国污染源普查领导小组办公室,2008 年 3 月),结合交通基础设施建设排放行业特点,类比资料确定污水排放系数取为 0.8,计算出污水排放量,参照现行《污水综合排放标准》(GB 8978)中的一级标准、二级标准和三级标准,计算得出在工程建设过程中污水不同达标排放情景下水污染物的排放量。

### 3.3 建设期外源核算

3.3.1 工程建设期外源核算应涵盖沉管隧道工程、人工岛工程、跨海桥梁工程和交通工程及沿线设施等核算单元。

3.3.2 核算内容应包含综合能耗量、二氧化碳排放量、大气污染物排放量和水污染物排放量的分项核算及总量核算。

3.3.3 材料宜采用聚类分析法进行分类,参照内源核算的方法进行。核算宜采用清洁生产标准中的一级生产标准。

**条文说明:**对于《港珠澳大桥主体工程设计文件》中以延米、套、件、平方米、立方米等为单位,并且构成不明、直径不明、密度不明的材料,在项目核算中可列为“不可核算材料”。后续明确材料属性后,可纳入“可核算材料”,逐步缩减误差。

清洁生产标准(为贯彻实施《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国清洁生产促进法》,保护环境,指导企业实施和推动环境管理部门的清洁生产监督工作,原国家环保总局已经组织了第三批,共70多项清洁生产标准和清洁生产审核指南的编制工作)给出了各行业企业生产过程中清洁生产水平的三级技术指标:一级是国际清洁生产先进水平;二级是国内清洁生产先进水平;三级是国内清洁生产基本水平。考虑到港珠澳大桥工程项目的绿色采购和节能环保示范要求,核算系数优先选择清洁生产标准中的一级生产标准。对于暂时没有国家行业标准的材料类别,应参考行业内相关文献资料和行业能源经济统计资料估算。对于材料生产过程的能耗结构,在相关资料缺乏的情况下,可暂时参考《中国能源统计年鉴》中对应行业的能耗结构。对于国家标准与相关资料都缺少的材料类别,也可以考虑通过专家咨询获得核算系数。

3.3.4 建设期能源消耗、温室气体和污染物排放量可采用公式(3.3.4)计算:

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij} X_{ij} \quad (3.3.4)$$

式中: $C$ ——生产期能源消耗、温室气体排放和污染物排放量(t);

$C_{ij}$ ——第*i*类材料第*j*种规格的能源消耗、温室气体排放和污染物排放量(t);

$A_{ij}$ ——第*i*类工程材料第*j*种规格的能源消耗、温室气体排放和污染物排放系数,t/工程量单位(工程量单位视建材消耗的体积、质量、长度等而定);

$X_{ij}$ ——第*i*类材料第*j*种规格的工程量(工程量单位视建材消耗的体积、质量、长度等而定);

*i*——分类之后的工程材料类型, $i=1,2,\dots,n$ ;

*j*——工程材料在大类里的不同规格、型号等, $j=1,2,\dots,m$ 。

3.3.5 建设期外源综合能耗核算系数宜参考表3.3.5。

表 3.3.5 港珠澳大桥工程建设期材料生产能耗系数

类 型	生产能耗系数	依 据
原煤	7.83kgce/t	各地统计局最新的《主要耗能工业企业单位产品能源消耗情况》
标煤	7.83kgce/t	各地统计局最新的《主要耗能工业企业单位产品能源消耗情况》
汽油	64.38kgce/t	各地统计局最新的《主要耗能工业企业单位产品能源消耗情况》
柴油	64.38kgce/t	各地统计局最新的《主要耗能工业企业单位产品能源消耗情况》

表 3.3.5 港珠澳大桥工程建设期材料生产能耗系数(续)

类 型	生产能耗系数	依 据
电	198gce/(kW·h)	南方电网官网
新鲜水	294kgce/万 t	国家统计局标准
氧气	0.4kgce/m <sup>3</sup>	《综合能耗计算通则》(GB/T 2589—2008)
重油	64.38kgce/t	各地统计局最新的《主要耗能工业企业单位产品能源消耗情况》
布	1000kgce/t	生态环境部清洁生产标准(纺织业 棉印染)(一级)
木材 <sup>a</sup>	—	—
铝	1782.05kgce/t	生态环境部清洁生产标准(铜电解业、电解铝业)
煤	7.83kgce/t	各地统计局最新的《主要耗能工业企业单位产品能源消耗情况》
沥青	28.572kgce/t	生态环境部清洁生产标准(石油炼制业 沥青)(一级)
黏土	230kgce/t	生态环境部(耐火黏土)行业准入标准
铁	385kgce/t	生态环境部清洁生产标准(钢铁行业 高炉炼铁)(一级)
铜	390kgce/t	生态环境部清洁生产标准(铜冶炼业)(一级)
电焊条	480kgce/t	生态环境部清洁生产标准(钢铁行业)(一级)
钢	480kgce/t	生态环境部清洁生产标准(钢铁行业)(一级)
钻杆	480kgce/t	生态环境部清洁生产标准(钢铁行业)(一级)
橡胶	50kgce/t	《天然橡胶产品能耗限额及计算方法》(DB 46)
乙炔	8.3143kgce/m <sup>3</sup>	《综合能耗计算通则》(GB/T 2589—2020)平均值
油漆	800kgce/t	《油漆单位产量综合能耗计算方法及限额》(DB 12 046.80—2008)
水泥	93kgce/t	生态环境部清洁生产标准(水泥工业)(一级)
注: <sup>a</sup> 木材的能耗因种类不同差异较大,可归一化为当地商品林成材过程中能耗,通过文献取值。		

3.3.6 建设期外源二氧化碳排放系数,宜参照 IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)进行分级,具体取值宜按表 3.3.6。

表 3.3.6 港珠澳大桥工程主要材料生产的二氧化碳排放系数

材料名称	二氧化碳排放系数 (kgCO <sub>2</sub> /t)	依 据
原煤	37.60	《地下开采煤矿碳排放量核算初探》(2012年第10卷第2期《矿山机械》)
石油石化	53.56	《中国石油石化行业碳排放波动与低碳策略研究》(2012年东北石油大学学位论文)
水泥	295.4	《水泥生产能源消耗内含碳排放量分析》(2017年5月第34卷第3期重庆大学学报)
电	0.68[tCO <sub>2</sub> /(mW·h)]	中国电网2008年用电排放因子表
钢铁	1140	2009年美国钢铁协会公布数据

3.3.7 建设期外源污染排放核算,材料生产过程中排污系数,宜依据《第一次全国污染源普查工业污染源产排污系数手册》(2010 修订)。

**条文说明:**本工程个别排污系数在其他来源难以确定时,应采用清洁生产标准中的国际先进水平。工程建设中因外源污染物种类较多,应重点选取化学需氧量、二氧化硫和氮氧化物三种污染物进行核算。

### 3.4 运营期内源核算

3.4.1 工程运营期内源核算应涵盖沉管隧道工程、人工岛工程、跨海桥梁工程和交通工程及沿线设施等核算单元。港珠澳大桥运营期能耗重点单元见表 3.4.1。

表 3.4.1 港珠澳大桥运营期能耗重点单元

序号	分项工程	涵盖重点单元
1	沉管隧道工程	通风设施、照明设施、供配电设施及其他耗能设施
2	跨海桥梁工程	景观照明、功能照明、除湿机、电梯等
3	人工岛工程	照明、空调、新风系统、绿化等
4	珠澳口岸大桥管理区	照明、空调、新风系统、绿化等
5	综合管理中心	照明、空调、新风系统、绿化等
6	其他耗能设施	收费设施、通信设施、监控设施等
7	工程养护管理过程	材料消耗、养护施工机械和运营管理车辆能耗等

3.4.2 运营期内源综合能耗核算可按公式(3.4.2)计算:

$$E = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m E_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m A_{ij} X_{ij} \quad (3.4.2)$$

式中: $E$ ——运营期电力能源消耗( $\text{kW} \cdot \text{h}$ );

$E_{ij}$ ——第  $i$  区域第  $j$  种设备的电力能源消耗( $\text{kW} \cdot \text{h}$ );

$A_{ij}$ ——第  $i$  区域第  $j$  种设备的总功率( $\text{kW}$ );

$X_{ij}$ ——第  $i$  区域第  $j$  种设备的年工作时间( $\text{h}$ );

$i$ ——电耗的重点区域, $i=1,2,\dots,n$ ;

$j$ ——电耗重点区域中的关键设备等, $j=1,2,\dots,m$ 。

其中,各种电耗设备的工作时间参数,可按照运营管理手册相关要求或参照类似工程。

**条文说明:**工程养护管理综合能耗包括养护施工机械和各类养护管理车辆的能耗。

3.4.3 港珠澳大桥工程运营期内源温室气体排放宜选用二氧化碳作为核算对象。

3.4.4 港珠澳大桥工程运营期内源大气污染排放核算应根据内源性能源消耗量以及各类能源  $\text{SO}_2$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{NO}_x$  排放系数,核算污染气体排放量。

**条文说明:**内源性大气污染排放是港珠澳大桥工程直接运营养护活动排放的大气污染,如施工机械在作业中产生的大气污染物;外源性大气污染排放是属于本工程间接的外系统供给材料,在其生产过程中产生的大气污染物,如水泥本身生产中的大气污染物排放。

运营期通风、照明、景观等能源类型为电,电力消耗过程中没有直接排放污染物,不列入内源核算。

SO<sub>2</sub> 燃烧系数取 0.8。通过计算各类型燃料消耗量与燃烧系数的乘积,即可核算出 SO<sub>2</sub> 排放量。

工程养护机械因消耗汽油、柴油及重油而产生的 CO、NO<sub>x</sub> 排放量,采用排放系数法进行估算,即排放系数乘以工程养护机械的总功率得出各类污染物排放量。

养护及运营管理所用车辆消耗的汽油排放的 CO、NO<sub>x</sub> 排放量采用排放系数法进行估算,即根据不同所用车辆速度确定排放系数(即等速工况单车排放因子),再将排放系数乘以所用车辆行驶距离得出各类污染物排放量。根据现行《公路建设项目环境影响评价规范》(JTG B03)中给出的气态污染物等速工况单车排放因子推荐值,采用排放系数法进行计算。

#### 3.4.5 运营期内源性水污染物排放核算应根据用水量及污水排放系数计算。

**条文说明:**港珠澳大桥工程东人工岛和西人工岛的生活污水主要来自高峰时期在岛人员、休息人员、游客餐厅和内部食堂等,根据每日服务人数和用水标准确定用水量及污水排放系数计算污水排放量。同样,珠澳口岸管理区及综合管理中心水污染物排放量根据口岸工作人员和岛上旅客数量等确定。

### 3.5 运营期外源核算

3.5.1 工程运营期外源综合能耗,应针对电力生产、养护耗材的生产能耗进行核算。核算方法与建设期相同。

3.5.2 运营期外源二氧化碳排放核算方法应与建设期相同,具体二氧化碳排放核算系数见本指南的表 3.3.6。

3.5.3 运营期外源大气污染和水污染排放核算方法应与建设期相同。

### 3.6 节能减排核算系统

3.6.1 应根据核算原则及核算办法,开发港珠澳大桥工程的节能减排核算系统。

3.6.2 核算系统应包括沉管隧道工程、人工岛工程、跨海桥梁工程、交通工程及沿线设施四个子系统。子系统应采用模块化设计,并宜包含基础信息库、基础参数库、核算单元及分析单元四部分。

**条文说明:**每个子系统一般包括以下四个单元模块:

(1)基础信息库:由用户输入能源消耗量或工程材料等使用量。

(2)基础参数库:提供默认的能源或者工程材料的能耗折算系数、CO<sub>2</sub> 排放系数以及污染物排放参数(支持修改、新建),包括:能源消耗系数、CO<sub>2</sub> 排放系数、燃料全硫分含量、燃料中氮的含量、燃料的氮的转化率、燃料的燃烧不完全值、燃料含碳量、水污染物排放标准以及工程材料的 COD 排污系数、SO<sub>2</sub> 排污系数、NO<sub>x</sub> 排污系数。

(3)核算单元:内嵌燃料、工程材料能耗、CO<sub>2</sub> 排放量以及污染物排放核算方法,通过用户需求设置,输出用户所需的核算统计表格。

(4)分析单元:对比分析同一工程的相关指标,包括沉管隧道工程、人工岛工程、跨海桥梁工程、交通工程及沿线设施建设的总能耗、温室气体排放量、污染物排放量等;对比同一工程不同能耗与排放参数类别下的核算结果,作为核算能耗和排放强度降低所实现的节能减排量;对比能耗与排放参数不变的情况下,由于节约工程材料投入所形成的节能减排量;对比分析不同工程之间的节能减排指标,包括能耗、温室气体排放、污染物排放的总量和强度等指标;提出节能减排优化建议。

## 4 照明系统节能

### 4.1 一般要求

4.1.1 港珠澳大桥照明应重点考虑海中桥梁、人工岛、隧道照明的节能减排。

4.1.2 照明节能应结合照明参数、系统方案、照明控制、设备选型及运营节能措施等进行设计和运营。

**条文说明:**照明节能应在确保相应照明标准的前提下,通过分析项目所处地理位置、工程规模、交通量大小等工程特点,合理选定照明标准,并进行多方案的综合经济技术比较,确定最佳设计方案。同时,运营中应根据交通量变化及气候条件不同等制订适宜的调光方案,以确保照明系统在不同运营条件下的安全与节能运行。

4.1.3 隧道照明节能设计应充分考虑土建工程及交通工程设施现状,并按表 4.1.3 收集资料。

**表 4.1.3 港珠澳隧道照明节能设计基础资料**

基础资料	具体内容
区域环境	区域地形、减光设施及气象状况等
土建结构物条件	主要结构物长度、宽度、纵坡、平纵线形、装饰材料与路面类型等
交通条件	设计速度、交通量、交通组成等参数
照明条件	照明系统设置方案、设施配置情况等

4.1.4 跨海桥梁、人工岛道路、沉管隧道、跨线立交、收费广场的照明系统宜集成控制。

**条文说明:**跨海桥梁、人工岛道路、沉管隧道、跨线立交、收费广场的照明通过集成化统一控制实现天气、时段和交通量一致下的安全与节能。

### 4.2 照明参数

4.2.1 沉管隧道照明节能设计应符合下列规定:

1 沉管隧道洞口应进行减光设计。

**条文说明:**根据实际研究结果,减光设计之前的港珠澳沉管隧道洞外亮度为  $6500\text{cd}/\text{m}^2$ ,进行减光设计后的洞外亮度降至  $3250\text{cd}/\text{m}^2$ ,加强照明功耗可降低 50%,起到照明节能的作用,同时有效控制了照明工程规模和运营成本。

2 隧道路面平均照度与平均亮度的换算系数宜通过实测确定。

**条文说明:**根据研究结果,隧道路面平均照度和平均亮度之间存在系数换算关系,受到路面材质、养护情况等因素影响,该换算系数存在小于《公路隧道照明设计细则》(JTG/T D70/2-01—2014)规定的  $15\text{lx}/(\text{cd}/\text{m}^2)$  换算系数的情况。隧道照明设计在光通量的需求上应按实际测试换算系数进行计算,可有效控制设计规模,降低建设和运营成本。

3 应选用耐污、易清洗、寿命长且易更换维修的隧道灯具,照明设计维护系数取值不宜低于 0.7。

**条文说明:**隧道照明灯具的光利用率与维护系数取值强相关,当灯具耐污性强、易清洗时,隧道灯

具不易受到因污染物的影响导致出射光通量低,且光衰小、寿命长,有利于在寿命周期内保持光利用率始终满足维护系数取值规定,利用隧道运营节能。

4.2.2 在采用高显色灯具时,桥梁段路面设计亮度可采用  $1.5\text{cd}/\text{m}^2$ ;跨线立交路面设计亮度可采用  $2\text{cd}/\text{m}^2$ ;收费广场路面设计亮度可采用  $2.5\text{cd}/\text{m}^2$ ;人工岛匝道路面设计亮度可采用  $2\text{cd}/\text{m}^2$ ;环岛道路路面设计亮度可采用  $1.5\text{cd}/\text{m}^2$ 。

### 4.3 系统方案

4.3.1 沉管隧道照明系统应包括洞外敞开段引道照明、减光段引道照明、隧道内部照明。各部分照明应满足行车视觉需求,并统一进行控制。

4.3.2 跨海桥梁、跨线立交及收费广场照明宜采用高光效防雾灯具。

4.3.3 桥梁夜景照明应采用高光效防雾灯具,并能满足不同运营需求的节能控制策略。

### 4.4 照明控制

4.4.1 照明控制应针对隧道、桥梁、跨线立交和收费广场的不同回路进行分别控制。每一回路控制均具备根据不同工况和运营参数的智能控制策略。

4.4.2 各区段、各区域照明节能控制应集成于同一个平台,应满足接口开放、标准开放、可靠稳定和经济实用原则。

4.4.3 采用发光二极管(LED)照明时,应设置智能调光控制系统,且能根据洞外亮度、交通量、车速等进行自动调节。

4.4.4 照明控制系统应具备照明功率实时显示、电力数据存储和节能报表自动分析功能,并具备不同回路的电力成本和节能数据分析功能。

4.4.5 照明控制系统的标准接口应满足如下要求:

1 内置智能调光控制算法软件模块,根据交通量及洞外亮度,快速响应和跟踪照明需求曲线,得到最优的控制效果并达到节能的目的。

2 内置数据库系统,支持控制策略、能耗、设备参数、设备状态的存储,本地或远端查询等。

4.4.6 照明节能控制方案与策略,应符合表 4.4.6 的要求。

表 4.4.6 港珠澳大桥照明节能控制方案及策略

工况名称	工况描述	控制方案	控制策略
正常工况	交通状况良好,无事件、事故、火灾发生,隧道运行正常	全段按需调光控制	自动控制
养护工况	养护管理人员对隧道、桥梁进行维护	养护段最大亮度,其余段按需调光控制	预案控制、人工控制
交通异常工况	交通发生短暂性意外、拥挤或堵塞	全段最大亮度	预案控制、人工控制
火灾工况	发生火灾	全段最大亮度	预案控制、人工控制
故障工况	传感器掉线或损坏、通信故障	根据实际需求控制	时序控制、预案控制、人工控制

4.4.7 沉管隧道内照明调光控制段落可按照入口段、过渡段、中间段、出口段进行分段调光控制,控制区段划分见图 4.4.7,具体要求如下:

- 1 入口段加强照明段可按 20 级控制,5%为一个亮度增减等级。
- 2 过渡段加强照明段可按 20 级控制,5%为一个亮度增减等级。
- 3 中间段按 5 级控制,20%为一个等级增减亮度。
- 4 出口段按 5 级控制,20%为一个等级增减亮度。

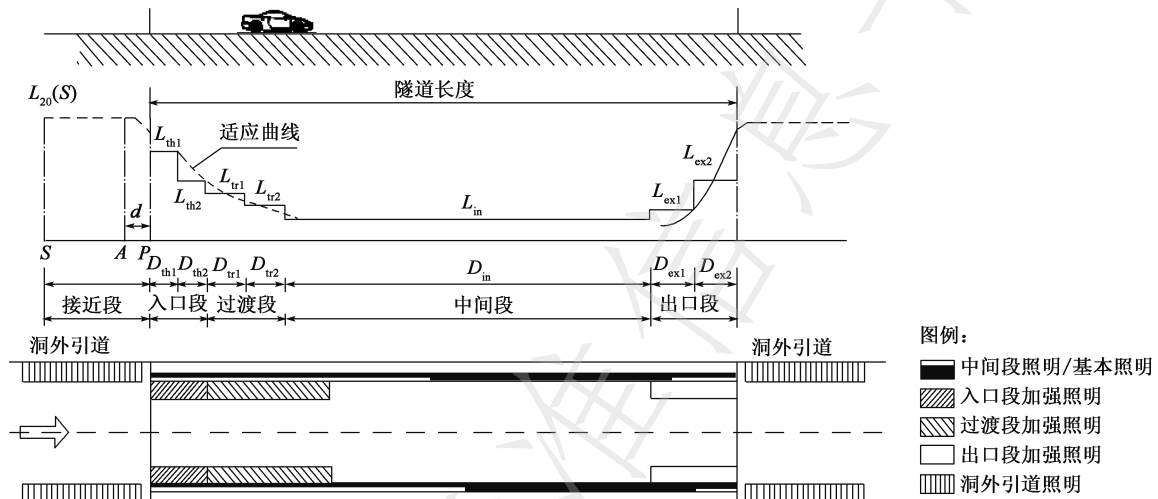


图 4.4.7 沉管隧道内照明区段划分

4.4.8 桥梁、跨线立交和收费广场等其他段照明宜采用时序控制模式,可按天文时钟模式自动调整开关时间或亮度调光。时间段的划分应根据春、夏、秋、冬四个不同季节 24h 时间段内室外环境光亮度的变化规律确定。

## 4.5 设备选型

### 4.5.1 照明灯具选择应符合下列规定:

1 隧道除入口加强照明可采用 LED 灯或与高压钠灯混合的照明方式外,其他照明区段均宜采用 LED 灯照明。

**条文说明:**考虑到港珠澳大桥隧道入口段位置雾气较重,黄光透雾性比白光好,综合考虑性价比及节能需求的前提下,隧道入口段加强照明采用 LED 灯与高压钠灯混合的布灯方式,同时兼顾了行车安全和节能减排。

- 2 桥梁照明、跨线互通照明、收费广场照明及环岛道路照明宜采用 LED 灯。
- 3 宜采用 LED 模块化照明灯具。
- 4 LED 隧道灯应选择节能型驱动电源。

### 4.5.2 照明控制器应支持本地控制、远程调控及监测,并具备全体调光、分组调光及单灯调光功能。

## 4.6 运营节能

4.6.1 港珠澳大桥照明系统应根据交通量、交通组成、隧道实际运行速度、洞外亮度、季节变化等因素制订运营管理控制方案,实现节能减排。

4.6.2 港珠澳大桥照明系统运营节能方案应包括下列内容:

- 1 隧道应根据交通量、运行速度及洞外环境亮度等因素,确定隧道各照明段亮度。
- 2 桥梁和一般路段,应根据不同交通量、天文时钟和环境亮度等因素,确定照明亮度。
- 3 景观照明应采用集中控制模式,根据使用情况设置一般日、节假日、重大庆典等不同的照明控制方案,并符合现行《城市夜景照明设计规范》(JGJ/T 163)相关规定。

**条文说明:**景观照明的深夜时宜切换为亮度减半的节能运营模式;桥梁和路段的夜间照明应结合景观照明的亮度贡献进行节能运营;在后期运营技术提升时应结合港珠澳大桥隧道加强照明高光能需求和预留预埋实际情况进行直接引入太阳光进行照明的技术,以有效降低白天隧道加强照明的运营能耗。

- 4 正常运营工况下隧道夜间照明应关闭加强照明,后半夜基本照明亮度可调至规定亮度的 50%。

4.6.3 照明系统运营节能方案应按下列步骤制订:

- 1 根据实测交通量和洞外亮度 $[L_{20}(S)]$ 等参数确定照明需求。
- 2 制订结合季节、天气和天文时钟的控制策略,根据控制参数编制按需照明节能控制算法。
- 3 将控制策略和按需照明节能控制算法植入照明节能控制系统。
- 4 定期对节能运营效果进行检测和评价。

**条文说明:**照明设施运营节能方案的制订以当前实际年平均日交通量及交通组成和不同季节、不同时间、不同天气环境下隧道洞外亮度实测数据为基础,将收集到的实测数据和隧道长度、设计速度、平面线形等基础数据,按照现行《公路隧道照明设计细则》(JTG/T D70/2-01)的相关要求进行分析计算,得出不同交通量或交通状态和不同洞外亮度下隧道所需亮度,以及照明设施开启回路、调光等级之间的对应关系,用于控制软件参数调整。

## 5 沉管隧道通风系统节能

### 5.1 一般要求

#### 5.1.1 通风系统节能设计应在隧道总体方案制订时予以考虑。

**条文说明:**隧道通风系统节能效果受隧道平纵线形、横断面及洞口设置形式影响较大。隧道总体方案制订时应考虑通风系统节能设计与隧道平纵面设计的结合,以达到工程全寿命周期最优的建设目标。

#### 5.1.2 隧道通风系统节能设计应重点考虑正常运营工况。

**条文说明:**通风系统由正常运营通风系统和火灾工况下紧急通风系统两部分构成。港珠澳大桥沉管隧道紧急通风系统采用独立排烟系统,虽然风机功率较大,但仅在紧急工况下运行,本指南不涵盖紧急通风部分内容。

#### 5.1.3 车辆污染气体排放计算可参照国际道路协会(PIARC)计算方法。

**条文说明:**与其他区域相比较,港珠澳大桥所在区域经济发展水平较高,机动车保养状况较好,机动车实际污染物排放标准与国家公布的机动车污染物排放标准基本一致。《公路隧道通风设计细则》(JTG/T D70/2-02—2014)虽然考虑了机动车污染物排放下降的技术趋势,但对于南方发达地区仍显得保守。本项目建设过程中参照了国际道路协会(PIARC,2014)的相关技术要求,在设计中考虑了机动车的实际污染物排放水平。

#### 5.1.4 通风系统设计中应考虑 $\text{NO}_x$ 的影响。

#### 5.1.5 沉管隧道通风系统节能设计中应考虑外界自然风的有效利用。

**条文说明:**沉管隧道地处海域,自然风资源丰富,在长期观测基础上,得出自然风的相关规律,条件具备时制订机械通风与外界自然风相结合的通风控制方案,达到节能的目的。

5.1.6 隧道通风系统应从设计标准、外界环境影响、设备节能、污染气体串流干预、智能通风控制等进行整体节能设计。

**条文说明:**隧道通风节能是一个系统工程,参数选取的合理性、外界自然风影响、通风设备效率的保证、控制模式的合理性等都会影响系统的效率。需要根据工程实际情况进行通风系统综合节能处理,才能达到最佳节能效果。

5.1.7 通风系统设计及运营过程中应考虑隧道洞口污染气体串流的不利影响,并采取应对措施,必要时应在通风规划阶段提前论证。

**条文说明:**沉管隧道受结构特点的限制,两孔隧道洞口距离很近,若处理不当很容易造成左、右线隧道洞口污染气体串流问题。根据数值模拟分析的结果,在洞口遮光棚完全封闭且中隔墙距离较短的情形下,污染气体会重新进入相邻隧道,造成污染气体的二次污染。另外,洞口污染气体直接排出口也会对隧址区空气质量造成不利影响,需要通过高空排放等手段减少污染气体对隧址区环境的不利影响。

5.1.8 工程正式通车前,应对安装完毕后的沉管隧道通风系统进行测试和调试,优化控制策略,提高节能效果。

**条文说明:**沉管隧道通风系统设备繁多,系统复杂。为保证通风系统运营的可靠性和经济性,在系统安装完毕后应对其关键参数(洞内风速、洞内风压、自然风风向、自然风风速等)进行测试,对系统进行调试,完善系统控制方案,从而提高运营的经济性。

## 5.2 通风关键参数

### 5.2.1 沉管隧道通风系统节能设计应考虑下列因素:

- 1 烟尘(VI)、一氧化碳(CO)、氮氧化物( $\text{NO}_x$ )、异味和富余热量等。
- 2 除计算机动车排放的烟尘外,尚宜计算洞内机动车带入的粉尘。

**条文说明:**卫生标准下通风节能设计包含稀释机动车排放的一氧化碳(CO)及氮氧化物( $\text{NO}_x$ )等工况。

环境空气质量包含换气稀释机动车带来的异味和富余热量等工况。

《公路隧道通风设计细则》(JTG/T D70/2-02—2014)对  $\text{NO}_x$  及富余热量等没有相关要求。设计中参照英国的通风设计指导原则 *DESIGN ROAD TUNNELS* (BD78/99) 以及国际道路协会(PIARC)技术要求 *Road Tunnels: VEHICLE EMISSIONS AND AIR DEMAND FOR VENTILATION* 对  $\text{NO}_x$  排放进行了考虑。

富余热量需要根据车流量、车辆组成、外界环境温度和单车的热排放等因素进行计算。

### 5.2.2 隧道通风设计参数应按表 5.2.2 取值。

**表 5.2.2 CO,VI, $\text{NO}_x$ 最大容许值**

交通状况	CO	VI	$\text{NO}_2$
	$\text{cd}^3/\text{m}^3$	$\text{m}^{-1}$	$\text{cd}^3/\text{m}^3$
正常工况	70	0.005	1
阻滞工况	100	0.007	1
关闭工况	200	0.012	1
不间断换气次数	2030年之前:3次/h;2030年之后:4次/h;同时换气风速不应低于1.5m/s		
温度要求	$\leq 40^\circ\text{C}$		

**条文说明:**考虑到港珠澳大桥海底隧道地处港澳地区,经济较为发达,且港珠澳大桥香港接线采用英国标准进行设计,故在限定主要污染物及主要控制标准时参考香港标准及国际道路协会(PIARC 2014)技术规范进行设计。另外,通风标准还参考了国内外水下隧道的设计基本参数。

### 5.2.3 不同设计年隧道机动车排放标准如表 5.2.3 所示。

**表 5.2.3 不同设计年机动车基准排放量**

年份	排放标准
2016	欧 III
2020	50%欧 III、50%欧 IV

**条文说明:**考虑到隧道所在地区经济较为发达,机动车保有状况良好,港澳车辆较多,机动车排放量基本满足国家规定的排放要求。若直接采用国内基准排放量进行折减的计算体系,通风系统规模庞大且与实际情况存在较大差异。基于此,考虑到工程实际,隧道机动车基准排放量采用欧盟机动车排放量进行计算,计算方法参照国际道路协会(PIARC 2014)技术要求 *Road Tunnels: VEHICLE EMISSIONS AND AIR DEMAND FOR VENTILATION*。另外,考虑到内地的实际车辆保有情况,对机动车排放标准进行了修正。

### 5.3 系统方案

#### 5.3.1 射流风机设置方案应满足如下要求:

- 1 设置方案应根据沉管隧道横断面设置形式,确定风机横断面设置方案和风机规格。
- 2 沉管段隧道可采用  $\phi 1120\text{mm}$  射流风机(37kW),三台一组进行布置。洞口暗埋段可采用  $\phi 1250\text{mm}$  射流风机(45kW),四台一组进行布置。
- 3 纵向间距宜在 135m 以上,横向中心间距宜在 3m 以上。
- 4 射流风机气流入口 10m 以内、气流出口 20m 以内应避免大型设备的遮挡。
- 5 风机预埋件宜考虑 20% 以上的富余量。

**条文说明:**洞口自然风影响隧道暗埋段进行调控的工况。另外,暗埋段纵向间距受限,风机设置规模受限,因而考虑采用四台一组的大功率风机进行布置的方案。

通过研究,风机纵向间距在 130m 以上,风机效率较高,结合隧道节段 22.5m 的特点,采用 135m 作为风机的纵向设置间距。通过研究,风机横断面方向 3m 以上,风机效率较高,有利于节能。

海洋气候条件对风机的防腐和风机寿命会产生不利影响,需要对其进行特殊防护。通过热镀锌处理加舰船用防腐漆可以对设备进行有效防护。

沉管隧道由于进行工厂化制作,风机预埋件一旦预制完毕,无法进行后期的增加或者修复。为保证沉管隧道资源的有效利用以及远期通风系统的拓展要求,需要考虑一定的富余量。

#### 5.3.2 轴流风机设置方案应满足如下要求:

- 1 应结合建筑特点和检修需求确定布置方案,可采用上、下层并联方案。
- 2 风道突变处应设置导流叶片或者圆弧过渡来减少局部阻力系数。
- 3 风道内应避免结构突变,通过设置导流装置等方式来减少阻力。

**条文说明:**变频控制可以实现对风机的无级调控,节能效果明显。港珠澳大桥沉管隧道风机控制室环境可控,满足变频器对环境的要求。

#### 5.3.3 隧道内宜预留静电集尘设备、脱硝设备及高压细水雾降温设备的安装条件。

**条文说明:**考虑到港珠澳大桥沉管隧道,通车初期交通量不大,洞内环境较好。待远期交通量达到一定规模后,根据洞内环境需求进行安装。

根据测算,远期交通量较大的情形下隧道内局部区域温度会超过  $45^{\circ}\text{C}$ ,从而造成驾车舒适性下降,加大设备能耗,并影响机电设备可靠性和使用寿命。基于此,需预留高压细水雾降温系统远期安装条件。

5.3.4 风机应进行防腐处理,可采用镀锌处理加舰船用防腐漆方案,镀锌层厚度不宜小于  $85\mu\text{m}$ ,船用防腐漆厚度不宜小于  $120\mu\text{m}$ 。

5.3.5 隧道洞口污染气体串流可通过下列方法干预:

- 1 沉管隧道出入口的中隔墙应将左、右线隧道完全隔绝。
- 2 延长中隔墙长度,在遮光棚顶部或外侧壁增设开口。
- 3 隧道洞口污染气体干预方案应结合隧道洞口景观设计综合考虑。
- 4 隧道洞口遮光棚中隔墙应将左、右线隧道完全隔绝,长度不宜小于 30m。

**条文说明:**沉管隧道受结构形式制约,行车主洞之间距离太近,容易造成两隧道之间污染气体的串流问题。隧道采用纵向通风方案加剧了污染气体在洞口的串流影响,造成污染气体二次污染,加大了通风系统的能耗。在设计过程中应对此予以考虑。通过延长遮光棚段隧道之间的中隔墙长度和遮光棚顶部开口的方案可以有效缓解污染气体的串流,提高通风系统效率。具体设置方案可以通过 CFD 软件建立三维数值模型进行分析确定。

通过研究,两隧道洞口之间设置完全封闭的中隔墙,遮光棚顶部进行开口可以有效缓解污染气体串流的不利影响。在遮光棚顶部开口情况下,一般中隔墙长度在 30m 左右能够有效缓解污染气体串流的影响,在实际工程中通过数值模拟等手段进行研究,确定中隔墙的长度和顶部开口尺寸等。

## 5.4 设备选型

5.4.1 射流风机宜选择双向可逆式,反转时的风量和推力不应低于正转的 98%。

5.4.2 轴流风机选型应结合隧道近、远期设计风量及风机全压、性能曲线进行选择。

5.4.3 轴流风机全压效率不低于 80%。

## 5.5 运营节能

5.5.1 沉管隧道通风系统应根据交通量、交通组成、隧道实际运行速度、污染物浓度等因素制订运营管理控制方案,实现节能减排。

5.5.2 通风控制应满足如下要求:

- 1 正常运营通风采用自动控制方式为主、手动控制方式为辅。
- 2 通风系统控制方案明确不同工况下风机控制具体要求。
- 3 轴流排风风机采用高压变频器对风机进行控制,满足隧道不同需风量情况下的节能运行。
- 4 海中人工岛风塔风阀的开启,应根据外界风向变化确定开启方案。
- 5 通风系统采用智能化通风控制系统。

**条文说明:**智能通风控制系统利用多目标智能化控制方法与风机变频技术,利用风机最优运行效率与交通运营安全条件下的车辆平均行驶速度、交通运营安全、废弃物排放量三者之间的匹配曲线,形成“主动式”的隧道风机控制方式与节能方法,建立高效运转、低值能耗、低量废弃物排放的沉管隧道通风系统。根据测算,通过对影响隧道通风系统的关键因子进行耦合控制,可以有效降低通风系统能耗。根据测算,采用智能化通风控制可以降低通风系统能耗 30% 左右。

## 6 供配电系统节能

### 6.1 一般要求

6.1.1 供配电系统节能设计在保障供电安全性、可靠性的前提下,应从方案、供电质量、设备选型等方面考虑。

**条文说明:**供配电节能设计方案包括变压器容量、电缆截面、开关元器件等电力设备的合理选择。合理的供配电节能设计方案将有利于减小变压器容量,降低电缆截面,准确选取开关元器件电流参数,从而降低变压器、电缆等设备的电能损耗。

供电质量主要指维护供电系统电压的稳定和电流频率的稳定。较大的电压波动和频率波动易导致电力设备绝缘老化,寿命降低,甚至导致电力设备无法正常运行。

节能型设备主要指通过采用新材料、新技术、新工艺等,能够有效减少电能损耗的设备。

6.1.2 供配电系统应根据当地供电条件,并结合负荷性质、用电容量、工程特点等因素,合理确定节能技术方案。

### 6.2 系统方案

6.2.1 用电设备需要系数的选取见表 6.2.1。

表 6.2.1 设备需要系数表

设备名称	需要系数
隧道照明	1
大桥照明	1
检修照明	0.5
检修插座	0.3
监控、通信设备	0.7
景观照明	1
射流风机	0.7
轴流风机	0.7
消防水泵	0.6
废水泵房	0.6
越浪泵房	0.6
雨水泵房	0.6
除湿机	0.3
索塔电梯	0.18

**条文说明:**由于电气规范中对设备的需要系数没有明确的规定。因此本指南提供了港珠澳大桥用电设备的需要系数,以方便设计人员在设计类似设计项目时参考使用。表 6.2.1 中部分设备的需要系

数(如索塔电梯、消防水泵等),参考了中国航空规划设计研究总院有限公司组编出版的《工业与民用配电设计手册》(第四版)中表 1.4.3 民用建筑用电设备需要系数表。在需要系数选取时,根据负荷种类和负荷容量采取其“平均值”或“下限”。部分设备的需要系数采用了港珠澳大桥设计时的实际取值(如除湿机、检修插座等)。

6.2.2 同时使用系数的选取以现行《民用建筑电气设计标准》(GB 51348)为依据,在计算各变电所总计算负荷时,有功同时使用系数宜取 0.8,无功同时使用系数宜取 0.93。

**条文说明:**考虑到本项目用电负荷功率大、种类多,同时使用的可能性小,且变压器采用互为备用的方式。所以本项目在选用“同时使用系数”时,以现行《民用建筑电气设计标准》(GB 51348)为依据,有功同时使用系数取 0.8,无功同时使用系数取 0.93,达到了降低变压器容量和减小能耗损失的目的。

6.2.3 应综合考虑港珠澳大桥用电容量和供电距离,确定港珠澳大桥供电电压等级。

**条文说明:**港珠澳大桥所属地区为南方电网,常用电压等级为 20kV 输电电压,考虑本项目用电容量和供电距离,东、西人工岛变电站采用了 35kV 电压等级后,输送距离更远、输送容量更大,减少了高压电缆用量。后期运营中减少了线损,节约了电能。

6.2.4 高压变电站和中压变电站选址应接近负荷中心,并且进出线方便。

**条文说明:**对于特长隧道和特大型跨海桥梁,变电站选址对项目的初期建设投资和后期的电能传输损耗有着重大影响。港珠澳大桥 110kV 变电站和两座 35kV 变电站已最大限度覆盖全线供电范围。110kV 变电站和 35kV 变电站的位置设置在用电负荷中心,以减少低压线缆长度,降低电能传输损耗。

6.2.5 跨海大桥和隧道采用分布式中压供电方式。大桥变压器和隧道照明变压器设置距离为 1km。隧道通风变压器为一组风机设置一台变压器。

**条文说明:**跨海大桥和沉管隧道均采用 10kV 分布式中压供电方式,使变压器深入负荷中心。变压器间距对系统建设成本和运营能耗损失有较大影响。综合考虑港珠澳大桥的负荷种类、负荷分布、低压供电半径、电缆损耗等因素,在设计中,大桥变压器和隧道照明变压器设置距离为每 1km 为一组,隧道通风变压器为一组风机设置一台变压器。

6.2.6 应根据实际用电负荷的特征,合理调整负荷分配,实现供电系统的经济运行。

**条文说明:**大桥负荷多处采用双变压器同时供电,可根据实际运营情况,自动关闭一台变压器,采用单台变压器供电。如:大桥负荷通过左、右幅变压器同时供电,大桥白天照明设施关闭,在同一桩号两台变压器可关闭一台,通过单变压器供电,从而降低空载损耗,节约运营成本。

6.2.7 电力电缆选取应考虑敷设环境和敷设方式的影响。

**条文说明:**电力电缆敷设环境(如环境温度)和敷设方式(如电缆间距)对电缆载流量有较大影响。因此,电力电缆的选取除考虑常规的电压降、机械强度、载流量、经济电流密度等因素外,应注意考虑敷设环境和敷设方式的影响。

## 6.3 供电质量

6.3.1 照明、监控、检修等单相设备接入供电系统时,三相应均衡分配。

**条文说明:**配电网三相不平衡对电网、变压器、电动机等都有不利的影 响,致使电网的可靠性和稳定性差,线路电能传输损耗增加。因此,照明、监控和检修等单相设备均通过 A、B、C 三相循环接线的方式接入电网,以确保三相负荷平衡。

6.3.2 对于冲击性较大的负荷如射流风机、轴流风机、消防水泵、废水泵、越浪泵等应单独设置变压器,避免冲击性负荷造成电压较大波动。

6.3.3 变电站宜设置电能质量分析仪,通过实时采集、监控、分析电网状态,自动生成分析报告,为电网的稳定、节能优化运行提供保障。

## 6.4 设备选型

6.4.1 节能型变压器宜满足如下要求:

1 跨海大桥 10kV 变压器宜选用非晶合金节能型变压器。

2 跨海大桥和沉管隧道左右幅用电设备宜分别设置变压器,根据其接线方式,跨海大桥宜采用埋地式节能变压器,隧道宜采用干式变压器或非晶合金变压器。

**条文说明:**非晶合金变压器是一种低损耗、高效率的电力变压器。此类变压器以铁基非晶态金属作为铁芯,非晶合金变压器的铁损(即空载损耗)要比一般采用硅钢作为铁芯的传统变压器低 70%~80%。

大桥安装电气设备空间小,埋地式变压器尺寸小,且可以实现一进一出的环网供电方式,有利于节约空间。隧道内环境封闭,埋地式变压器属于油浸式变压器,在隧道内安装需配套相应的灭火措施,因此,在隧道内建议采用干式变压器或非晶合金变压器。

6.4.2 高压配电装置宜选用气体绝缘电力设备。

**条文说明:**GIS 气体绝缘金属封闭开关设备运行可靠性高、维护工作量少、检修周期长,其故障率只有常规设备的 20%~40%。港珠澳大桥采用气体绝缘电力设备不仅节约空间,而且安装方便、安全性强、可靠性高。

6.4.3 港珠澳大桥应急电源装置宜采用锂电池。

**条文说明:**在做好安全防护的前提下,锂电池相对于传统的铅酸蓄电池寿命长、体积小、容量大且重量轻。

6.4.4 中压侧和低压侧采用动态消谐无功补偿装置。

**条文说明:**动态消谐无功补偿器采用全自动无功消谐补偿装置,既可补偿谐波,又可消除无功功率,并且能够快速投切,提高港珠澳大桥供电系统的功率因数、降低损耗,改善供电系统电网质量,实现节能降耗的目的。

6.4.5 电力电缆节能设备应满足如下要求:

1 港珠澳大桥中压电力电缆、低压电力电缆采用低烟无卤阻燃交联聚烯烃绝缘聚烯烃护套电力电缆。应急照明、监控设备和消防水泵电力电缆等一级负荷中特别重要的负荷采用低烟无卤耐火交联聚烯烃绝缘聚烯烃护套电力电缆。

2 110kV 电缆接头宜采用“MMJ”电缆头模注熔接。

3 35kV、10kV 电缆过跨海桥梁伸缩缝时,应设置电缆伸缩装置。

**条文说明:**低烟无卤阻燃和耐火电力电缆,一旦发生火灾时,具有一定的阻止燃烧的性能,燃烧时透光率高,无有毒的气体放出,便于人员逃生。阻燃电缆耐火时间一般为 1h。耐火电缆耐火时间可达到 3h,在发生火灾的情况下能够在一定的时间内继续保证一级负荷中特别重要负荷的正常供电。

“MMJ”电缆头模注熔接技术是将两端电缆熔接为一体,免除庞大的电缆接头设备接入,同时还具有低电阻、高强度的特点,可经受故障电流冲击和长期大电流运行的优势,降低运行风险。

为避免跨海桥梁伸缩缝对高压电缆的拉伸影响。在跨海桥梁伸缩缝处设置了35kV、10kV电缆伸缩装置。

全国团体标准信息平台

## 用词说明

1 本指南执行严格程度的用词,采用下列写法:

1) 表示严格,在正常情况下均应这样做的用词,正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”。

2) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的用词,正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”。

3) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的用词,采用“可”。

2 引用标准的用语采用下列写法:

1) 在标准条文及其他规定中,当引用的标准为国家标准或行业标准时,应表述为“应符合《×××××》(×××)的有关规定”。

2) 当引用标准中的其他规定时,应表述为“应符合本指南第×章的有关规定”“应符合本指南第×.×节的有关规定”“应按本指南第×.×.×条的有关规定执行”。

---

