

厦门翔安海底隧道工程技术丛书

下册 机电与建设管理

主 编 潘世建

副主编 黄灵强 曾 超 程正明



人民交通出版社
China Communications Press

厦门翔安海底隧道工程技术丛书

下册 机电与建设管理

主 编 潘世建

副主编 黄灵强 曾 超 程正明



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本丛书分上、下两册,上册包括设计篇和施工篇,下册包括机电篇和建设管理篇。丛书主要结合厦门翔安海底隧道工程难点和应对措施,对工程勘察、设计、施工、运营管理过程中的工程建设经验和创新技术进行系统地总结提炼,写作中力求真实,突出创新。

图书在版编目(CIP)数据

厦门翔安海底隧道工程技术丛书. 下册 机电与建设管理/潘世建主编. —北京:人民交通出版社, 2011.5

ISBN 978-7-114-09184-1

I. ①厦… II. ①潘… III. ①水下隧道—机电设备—管理—厦门市 IV. ①U459.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 107965 号

厦门翔安海底隧道工程技术丛书 下册

书 名:机电与建设管理

著 作 者:潘世建

责任编辑:张征宇 赵瑞琴

出版发行:人民交通出版社

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京盛通印刷股份有限公司

开 本:880×1230 1/16

印 张:19.25

字 数:556 千

版 次:2011 年 5 月第 1 版

印 次:2011 年 5 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-09184-1

定 价:180.00 元(上、下册)

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

厦门翔安海底隧道工程技术丛书

下册 机电与建设管理

编 委 会

顾 问：王梦恕 杨盛福

主 编：潘世建

副主编：黄灵强 曾 超 程正明

委 员（按姓氏笔画为序）：

王光安 王学斌 甘奋明 江孔雀 孙宝明 苏文德 吴仕书

张建斌 张晓东 陈 智 杨允红 闫淑芳 胡 宁 胡彦杰

黄小明 管 磊 曾华明 韩 直 蔡晓锋

主 审：曾 超 王明年 张建斌 吴仕书 陈俊平 左传文 刘志勋

刘相华 瞿守信 陈 智 周 健 胡彦杰 管 磊 黄小明

倪伟龙 程建华 林作雷

序 一

厦门,美丽的海上花园城市;其独特的山海地理环境和生机勃勃的城市发展,孕育了中国内地第一条海底隧道、也是目前世界上最大断面的海底公路隧道——厦门翔安隧道。它的建成通车,打破了厦门岛与翔安区隔海相望的地理屏障,完善了厦门进出岛交通布局,大大拓展了城市发展空间,有力推进了厦门岛内外一体化和城乡一体化进程,对实现厦门科学发展新跨越,构建闽南金三角厦漳泉大都市区,加快福建跨越式发展,更好更快建设海峡西岸经济区,具有重大而深远的意义。

厦门翔安隧道是一项富有开创性意义的工程。其前期决策充分体现了科学发展的理念,它是我国跨海工程桥隧建设方案比选中,最终以隧道方案胜出的第一个项目,事实证明,翔安海底隧道是综合效益最佳、经得起历史考验的正确抉择。

厦门翔安隧道以地质条件复杂、技术难度大、施工风险高而闻名。其中穿越海底风化深槽更是国内外罕见,极具挑战性,被业内专家称之为“世界级的工程”。在缺少成熟经验借鉴的情况下,建设者们以敢为天下先的大胆创新,以头顶大海的谨小慎微,以只能一次性成功穿越的必胜信条,坚持“安全高于一切、质量同于生命、防患胜于补救、责任重于泰山”的理念,历经4年8个月的艰苦奋战和攻坚克难,于2010年4月26日胜利建成通车,取得了创优质工程和施工亡人零事故的佳绩,为我国海底隧道建设事业树立了一座不朽的丰碑。现在,建设者们本着“不断总结、不断进取”的精神,将工程建设中积累的宝贵经验和取得的创新成果编写成丛书正式出版,以期在同行之间进行交流,相互促进,这是一件对促进我国海底隧道建设事业发展极为有利的好事。

厦门翔安隧道的成功修建,堪称世界隧道建设史上的壮举,更是我国公路隧道发展的里程碑。隧道建设过程异常艰辛,建设者们以攻坚克难、永不言弃的拼搏精神,以科学求实、勇于开拓的创新精神,以戮力同心、众志成城的团结精神,以埋头苦干、艰苦奋斗的奉献精神,铸就了这一宏伟工程,为我国海底隧道建设事业的发展翻开了从无到有的崭新篇章。

厦门翔安隧道建设过程中,得到了许多国内著名专家、学者的悉心指导和帮助。在此,特别感谢中国工程院院士王梦恕先生和交通运输部原总工程师杨盛福先生,他们作为厦门翔安隧道政府工程顾问在项目前期研究论证和工程实施过程中帮助解决了许多重大技术难题。同时,也衷心感谢厦门翔安隧道的建设者们,特别是奋战在施工第一线的同志们,他

们为成就这一伟大工程作出了不可磨灭的贡献。历史不会忘记这些知名和不知名的建设功臣们,他们的丰功伟绩,将如同“永不言弃”隧道工人群雕一样永远屹立在隧道洞口,将如同厦门翔安隧道工程实体一样永远镌刻在厦门的山海之间。

正如厦门翔安隧道两端通风塔建筑造型采用灯塔和帆船所蕴含的深远寓意,中国的海底隧道建设事业,正沿着厦门翔安隧道引领的方向,扬帆,起航,并将不断超越。我相信,本书一定能为我国海底隧道修建技术进步和后续工程建设提供有益的参考与借鉴。

A stylized handwritten signature in black ink, appearing to read 'Li Shu' (李书), with a horizontal line underneath.

2011 年 5 月

序 二

厦门岛是座美丽的海湾型城市,在翔安隧道修建之前,用两座大桥和大陆相联,每当台风季节,大桥停运就变成了孤岛。厦门市委、市政府早在 1997 年就启动海中水文、地质勘探,准备在厦门岛东部建一座通道,做到抗震性能好,战时抗损毁能力强,不受台风、大雾影响,可全天候运行的世界级翔安海底隧道。厦门市委、市政府大胆英明的超前理念,得到了广大市民的支持和赞赏,得到了各方专家的科学评价和肯定。方案前期由工程建设经验十分丰富且项目管理水平很高的厦门路桥建设集团有限公司作为建设主体单位,代表政府进行全过程管理,整个过程是在交通运输部领导直接关心指导下进行的。2005 年 9 月 6 日开工建设,2010 年 4 月 14 日交工验收,2010 年 4 月 26 日顺利建成通车,历时 4 年 8 个月,顺利安全、优质高效建成,标志着我国水下隧道的技术水平达到了国际领先地位。

翔安隧道是我国第一条海底隧道,是一座双向六车道的特大断面公路隧道。隧道在陆域地段要穿越软弱富水不稳定全风化地层,隧道在浅滩地段又穿越透水砂层,在深水段要多次穿越花岗岩风化深槽等不良复杂区段,是世界级规模巨大工程,是世界级技术难题,是世界级风险隧道。工程前期经过全方位的综合比选和科学论证,决定采用钻爆法开挖硬岩,用浅埋暗挖法开挖软弱围岩,用超前周边预注浆法进行开挖面超前预加固,用复合式衬砌形式作为百年隧道支护结构,整个工程采用信息化施工和动态信息化快速反馈设计。

作为具有里程碑意义的国内第一条海底隧道,建设者们紧密依靠科技攻关和技术创新去攻克十多项技术难题。建设方在施工前、施工中投入科研费用约 2500 万元,为精确进行水文、地质勘测,支护结构防腐蚀,防排水设计,安全施工方法,辅助工法确定等组成 30 多项科研专题进行现场攻关。具有强势能力的四大施工集团也紧密结合各个施工地段的地质特点、工程类型,分别投入 3000 万元以上的资金进行施工全过程的工艺、工序、施工组织、施工机械、非标设备研制等领域进行施工技术难点的攻关。他们用“严格纪律、严格工艺、严格管理”认真落实每项工序技术标准的实现,他们以“边研究、边试验、边施工”的科学态度,不放过每个可能危及风险、影响安全、影响工程质量的任何细小环节。他们奋战在 1700 多天的日日夜夜中,很少休息,很少回家,克服了一个个艰难险阻,攻克了一道道难关,历尽千辛万苦,用集体的智慧创造了一个个奇迹,赢得了绝对的安全,高质量、高速度、高效益建成了我国第一条不愧为世纪工程的海底隧道。

翔安隧道在修建过程中,涌现出许多可歌可泣的英雄诗篇,在翔安海底隧道建设者感

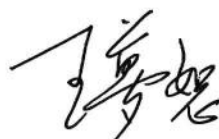
情的天平上,祖国重于一切,他们无愧于父母,有悔于妻子,有悔于儿女,但他们无愧于祖国,无愧于人民、无愧于自己所从事的事业。

作者以科学、实事求是的态度和精神,论述了隧道建设的各个阶段、各个过程,写的是科学技术的书稿,在内容上是真实的,是丝毫没有感情成分的,该书是否有价值留给后人,是否给后人以启迪,会随着工程的不断增多和实践得出正确的回答。但我相信,这本书的内容对读者肯定是有启迪价值的。同时我也相信,书中许多珍贵的历史资料和经验,都不应成为妨碍前进的桎梏,也应力戒被成功经验所束缚而故步自封。

最后,用我过去曾说过的话来结束这个序。

历史的脚步往往是毫不留情地把千千万万人筑起的一座座里程碑抛在后面,使它们很快就变得朦胧不清,年青一代的神圣职责就是在新跨越中去矗立更高的丰碑。不过我相信,厦门翔安海底公路隧道修建技术这座里程碑毕竟还是清晰地屹立着。

作者用最清晰的笔调在写作过程中还探索着、思考着,使我清醒的感到今天的隧道事业已攀登到如此的高度,在享受事业的同时,传承与创新隧道事业的责任感,自然又压在了我们每个人的肩上。



2011 年 5 月

前 言

厦门翔安隧道是我国大陆地区第一条海底隧道,也是当今世界上断面最大的钻爆法海底公路隧道,采用设置服务隧道的三孔隧道形式,左右为行车隧道,设双向六车道,由我国自主完成勘测、设计、施工,在我国隧道建设史上具有里程碑式的意义。修建厦门翔安隧道的构想始于20世纪80年代,随着厦门经济特区的蓬勃发展,项目建设显得日益迫切,而突飞猛进的工程建设技术进步也使得修建大规模跨海通道成为可能。由此,自1997年起全面启动项目前期工作。经过8年科学、系统的前期研究和方案论证,最后采用钻爆法海底隧道建设方案,于2005年9月6日正式开工建设。历经4年8个月的艰苦鏖战,厦门翔安隧道于2010年4月26日胜利通车,实现了创优质工程和施工亡人零事故的建设目标。

厦门翔安隧道地质条件十分复杂,需穿越陆域全强风化浅埋地层、浅滩富水砂层、海底风化深槽等不良地质段,项目建设规模大、工程经验少、技术难度高、施工风险大,尤其海底风化深槽更是被业内专家称为世界级难题。工程建设过程中,建设者们面对国内第一条海底隧道,迎难而上,大力倡导自主创新,牢牢依靠科技进步,积极研制和应用新技术、新材料、新工艺,攻克技术难关,最终成就了厦门翔安隧道这一宏伟工程。为更好地总结海底隧道工程建设经验,促进技术交流和成果推广应用,由各参建单位参与,共同编写完成了《厦门翔安海底隧道工程技术丛书》。

该丛书分上、下两册,上册包括设计篇和施工篇,下册包括机电篇和建设管理篇。丛书主要结合厦门翔安海底隧道工程难点和应对措施,对工程勘察、设计、施工、运营管理过程中的工程建设经验和创新技术进行系统地总结提炼,写作中力求真实,突出创新。

丛书是全体编审人员共同完成的作品,是单靠任何个人力量所无法取得的集体成果,也是翔安隧道全体参建单位齐心协力不懈探索凝聚出的智慧结晶,更是千百个工程一线不知名也未署名的工程技术人员和工人、农民工的默默奉献与伟大力量的真实写照。在此,感谢为厦门翔安隧道建设付出努力和心血的所有建设者,感谢关心和支持厦门翔安隧道的社会各界人士,感谢为丛书编写、审核、出版付出辛勤劳动的每一位工作人员。丛书中引用其他文献的基本理论、图表和数据也在此一并感谢原作者。

特别感谢厦门市人民政府副市长、厦门翔安隧道工程建设领导小组组长潘世建先生和中国工程院院士、厦门翔安隧道政府工程顾问王梦恕先生在百忙之中分别为本书撰写

序言。

谨以此书纪念厦门翔安隧道的胜利通车,并希望能为我国海底隧道修建技术进步和后续工程建设提供有益的参考与借鉴。

由于厦门翔安隧道作为国内首条海底隧道探索工程,加之编写时间较紧和编写人员水平所限,书中难免有不全或疏漏之处,敬请有关专家和同行们予以批评指正。

编委会

2011 年 5 月

目 录

下 册

第三篇 机 电 篇

第 1 章 机电系统主要构成及设计	447
1.1 监控与通信系统	448
1.2 照明系统	454
1.3 通风系统	456
1.4 供配电系统设计	482
1.5 消防系统	490
1.6 收费系统	495
1.7 抽排水系统	499
第 2 章 机电工程建设管理及施工组织	503
2.1 机电工程管理及总体施工组织设计概述	503
2.2 通风系统及相关配套工程	508
2.3 光带照明系统及相关配套工程	521
2.4 三大系统及相关配套工程	526
2.5 抽排水系统及相关配套工程	538
2.6 消防泡沫 - 水喷雾系统	544
2.7 消火栓系统及火灾报警系统	549
2.8 预埋管线工程概述及管理	556

第四篇 建设管理篇

第 1 章 工程建设管理	561
1.1 概述	561
1.2 组织机构	569
1.3 资金筹措与管理	571
1.4 工程、设备招投标管理	573
1.5 工程计量支付及概算管理	579
1.6 工程进度管理	587
1.7 环保、水保管理	590
1.8 工程建设大事记	595
1.9 回顾与展望	597
第 2 章 工程施工安全管理	599
2.1 隧道工程安全生产风险评估与分析	599
2.2 施工安全监督管理	604
2.3 施工安全技术措施	613

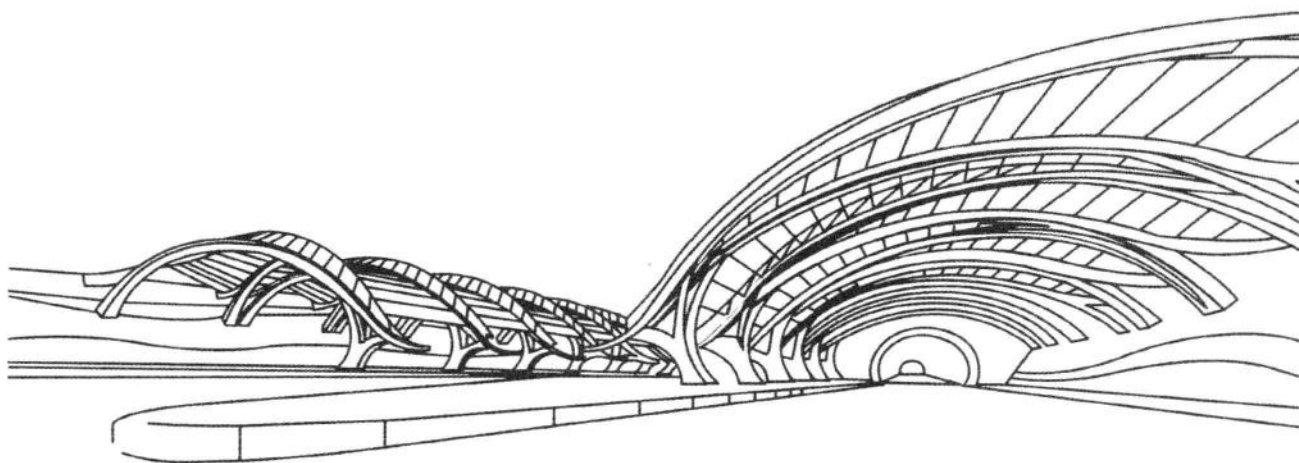
2.4	施工安全监控管理系统	618
2.5	施工安全应急管理	623
第3章	工程质量管理	630
3.1	工程质量控制标准	630
3.2	工程质量管理措施	632
3.3	重大技术方案审查	639
3.4	质量通病治理	643
3.5	工地试验室及检测工作重点	647
第4章	政府质量安全监督	652
4.1	质量安全监督组织形式	652
4.2	海底隧道开工后的质量安全监督	654
4.3	海底隧道工程施工过程的质量安全监督	661
第5章	工程运营管理	669
5.1	运营管理模式	669
5.2	海底隧道腐蚀长期监测技术	669
5.3	海底隧道结构长期监测技术	677
5.4	结构维修养护检测及安全评定	701
5.5	厦门翔安海底隧道养护管理系统	725
5.6	海底隧道病害成因及处治措施	732

厦门翔安海底隧道工程技术丛书

下册

第三篇 机电篇

- ⊕ 机电系统主要构成及设计
- ⊕ 机电工程建设管理及施工组织



第1章 机电系统主要构成及设计

翔安隧道工程概况

1. 沿线地形地貌

厦门市位于福建省东南沿海,厦门岛内地势由南向北倾斜,东南部多山,东北、西北部较为平坦,最高处在南面的云顶岩,海拔近340m。

厦门翔安隧道厦门岸接线基本上在准备实施的仙岳路规划红线内,所经地区为城乡结合部,途经田中央、田头、昭塘、五通、店里、浦东、下边等众多自然村落。道路建设用地内分布有民宅、村道、水塘、坟墓、庙宇、工厂、农田、建筑工地、果林等,地形较为复杂。

厦门翔安隧道翔安岸接线沿途村庄分布较稀,路线所经地区多为菜地,地形较为简单。

2. 社会环境

厦门是风景优美的旅游城市,厦门翔安隧道项目起点为浔江港南东出海口最狭窄处,自然环境优美,生长有国家一级保护动物——中华白海豚,被誉为厦门港的“镇港鱼”,岸边的五通港属市一级保护文物,港内有军事营区和炮台,厦门岸附近为五通滚装码头,工程终点刘五店码头港区是环东海域重要的港口,港区正在进行规划。

3. 隧道平面线位

隧道采用三孔建设形式修建,两侧为行车主洞,中间一孔为服务隧道。

(1) 隧道起讫桩号

左线 ZK6+540~ZK12+585,长6045m,洞门起讫桩号外各40m为遮光棚。

右线 YK6+559~YK12+610,长6051m,洞门起讫桩号外各40m为遮光棚。

(2) 服务隧道起讫桩号

NK6+542~NK12+590,长6048m。

(3) 在隧道左右线分别设置两处竖井,左右线竖井桩号

左线竖井 ZK7+900、右线竖井 YK11+300。

(4) 横洞设置

车行横洞5处、人行横洞设12处,相邻横洞间距约为300m。

4. 隧道净空

主洞隧道建筑限界净宽为13.50m,内侧设检修道,主洞隧道建筑限界净高为5.0m。

服务隧道断面基本采用圆形断面形式,其建筑内轮廓净空断面面积为 30.91m^2 。服务隧道作为紧急避难通道和日常维护检修通道,洞体上方预留检修车辆兼逃生空间 $3.0\text{m}(\text{宽})\times 2.5\text{m}(\text{高})$ 。服务隧道洞体下方根据市政要求,设置供水自来管道预留空间 $2.6\text{m}(\text{宽})\times 2.15\text{m}(\text{高})$ 和 220kV 高压电缆预留空间 $3.0\text{m}(\text{宽})\times 2.15\text{m}(\text{高})$ 。在服务隧道预留限界以外的空间作为安装照明、供电、监控、通信等设施的预留空间。

行人横洞净空: $2.0\text{m}(\text{宽})\times 2.5\text{m}(\text{高})$;行车横洞净空: $4.5\text{m}(\text{宽})\times 5.0\text{m}(\text{高})$ 。

5. 洞门

隧道洞口设置遮光棚,建筑造型设计方案为“羽翼”,以飞翔的羽翼为理念,采用钢骨结构和白色膜材,在功能上满足光过渡的要求,形式上有展翅飞翔之势,寓意厦门特区二次创业的经济腾飞,力求功能与景观的完美结合。

6. 机电系统

厦门翔安隧道机电系统,主要包括:监控与通信系统、照明系统、通风系统、供配电系统、消防系统和抽排水系统。

1.1 监控与通信系统

1.1.1 系统构成与规模

综合考虑翔安隧道的交通特性、隧道安全与防灾需求,根据《高速公路交通工程及沿线设施设计通用规范》(JTG D80—2006)和《高速公路隧道监控系统模式》(GB/T 18567—2001)的规定,翔安隧道监控系统规模按隧道 A2 类考虑,即设置完善的交通监控系统。

完善的隧道监控系统主要包括 11 个子系统:中央控制系统、交通控制系统、闭路电视监视系统、紧急电话系统、火灾报警系统、通风控制系统、照明控制系统、电力监控系统、有线广播系统、供配电(监控用电)系统、防雷接地系统等。

1.1.2 总体设计原则与目标

1. 总体设计原则

隧道监控系统是一个集计算机技术、通信技术、图像等高新技术于一体的综合智能工程,翔安隧道监控系统设计坚持遵循以下原则。

(1) 安全性、可靠性

根据隧道交通流量的特点,立足安全第一,以预防拥挤阻塞为主,加强常规检测及控制对策;加强事故检测及缓解措施,充分体现运行可靠、反应及时、监控准确、管理高效的中心枢纽作用。

(2) 系统兼容性和可扩展性

由于监控系统包含内容较多,各分系统既相互独立又相互影响,而且考虑到远期扩展的可能性,充分注意了设计的兼容性、系统的可扩展性。系统除了满足当前需求外,还要有足够的扩充余地和广泛的联网能力,能随着交通量的增长而不断扩充、完善,以适应公路建设不断发展的需要和厦门市城市 ITS(Intelligent Transport System)发展联网的要求。

(3) 设备先进、合理、适用

设计中本着实用、可靠、经济、先进、灵活的原则,作好投资效益分析,注意了选用设备的性价比,合理节约工程造价,除关键设备及尚不能替代产品外,一般立足国内,做到功能完善,技术先进,可靠实用,便于维护。鉴于隧道内环境相对恶劣,对设备的可靠性,先进性要求较高,因此所选设备应采用中国国家标准或国际通用标准设计生产,如无标准参照,选用 21 世纪先进水平的产品。立足国内,适当引进,在众多的国外产品中,则以在国内相似工程上实际应用过的设备为主要考虑对象。

(4) 突出重点,控制基本规模

监控设施重点放在异常事件检测设备布设和网络控制系统,规模满足隧道监控需要即可,同时监控系统与其他系统协调一致,统筹设计。

2. 总体设计目标

(1) 可测性

能连续检测交通参数、隧道的环境状况,以便根据实时情况进行交通调度与管理决策。

(2) 可控性

系统收集的交通、环境、语言、视频等信息能得到充分利用,据之合理诱导交通流,并进行有效控制。能根据实时交通状态,以动态调节和控制的方式,最大限度实现交通流的稳定性和行驶环境的舒适性,对交通状况和通风、照明运营状态进行控制,特别是减少隧道阻塞,杜绝 1km 以上排队现象。

(3) 安全性

系统能保证交通正常营运,能最大限度预防或避免道路拥堵和交通事故的发生,减少事故损失,提高

交通安全性。

(4) 系统性

能从运营、管理、维护多方面综合考虑,将各系统有机地结合在一起,形成优势互补,同时亦能在个别子系统或设备发生故障时,不影响正常系统或设备的运营与功能发挥。

(5) 协调性

系统静态与动态禁令、劝告、诱导设施能相互协调,检测与控制设施能相互配套,防灾与消防规模与交通量和交通组成相适应,监督与管理级别相符合,形成有序、一致的运营管理系统。

(6) 智能化

能应用现代先进的控制技术,减少车辆延误,在保证运营环境条件下,减少风机、灯具的运转时间并尽可能使风机运转平衡,从而降低能源消耗,节约运营成本。

(7) 人性化

系统软件界面,应友好,便于操作,消防、救援与逃生,应使不熟悉隧道设施的人员能正确作出决策。

1.1.3 系统总体功能

翔安隧道监控系统具有以下功能:

(1) 信息收集和交通监控功能

通过车辆检测器收集公路交通量、平均车速、占有率、车型类别、事故等交通流数据,加上 CCTV 监视系统加强交通监控功能。

(2) 交通状况自动判断功能

根据检测的交通流数据,通过监控中心监控计算机系统自动判断或预报交通阻塞,验证和修改控制模型参数。

(3) 交通诱导与控制功能

根据收集的交通及交通阻塞和事故发生情况等数据,监控中心和各管理站采取相应的控制方案,向外场发出控制命令,控制外场设备的显示内容,诱导道路使用者按最佳方式行驶,以达到调整和控制交通流的目的。

(4) 系统自动诊断功能

在系统运行中,监控主计算机随时检查系统和各设备工作是否正常,命令是否执行有误,出现故障时自动指示、报警。

(5) 统计、查询功能

监控中心交通计算机自动统计交通流参数及交通事故,并将数据存入存储器以便随时调用,即可随时打印年、月、日各种报表,并随时可查询1年内交通运转的详细内容。

监控软件主要有系统软件和应用软件。系统软件包括网络管理软件,操作系统软件,数据库软件和应用软件开发工具。

系统软件为程序开发提供操作及开发平台,对设备进行驱动及进行文件管理等,由计算机及设备厂家提供。

监控系统应用软件负责实现具体的控制功能。应用软件均应该能够支持系统以自动控制和手动控制两种模式运行。

应用软件完成监控系统的主要任务,根据监控系统的规模 and 需要由软件公司进行开发。又可分为监控中心软件和监控站软件等。其主要完成以下功能:

- ①软件采用模块化结构,具有容错能力;
- ②软件要求反应迅速、方案可行、执行准确;
- ③软件应满足监控系统所具有自动和人工控制两种方式;
- ④确保系统能够反映所辖区域的监控外场设备信息,公路地形、沿线设施等,并可通过局部放大显示