

文章编号: 0451-0712(2006)08-0099-05

中图分类号: U448.27

文献标识码: B

长会口大桥的稳定性分析

冯 莪, 谭平荣, 秦建军, 陈洪彬

(中交公路规划设计院 北京市 100010)

摘 要: 以威海市环海公路长会口大桥为工程背景, 借助于大型通用空间分析有限元程序, 对大跨径预应力混凝土斜拉桥进行了研究, 在特征值分析中, 研究了桥塔上横梁的布置方式以及斜拉索非保向力对结构的稳定性影响, 并提出了合理的桥塔横梁布置形式, 分析结果对预应力混凝土斜拉桥的设计具有一定的参考价值。

关键词: 斜拉桥; 稳定性; 有限元法; 设计

随着现代材料和施工技术的发展, 斜拉桥正朝着跨径更大, 结构更轻巧、更纤细的方向发展。斜拉桥的梁、塔、墩在外荷载的作用下, 处于压、弯状态。随着外荷载的增大, 梁、塔、墩压力增大到一定程度, 斜拉桥可能产生平面内的压、弯失稳或平面外的弯、扭失稳。斜拉桥在静风三分力作用下, 也可能出现扭转发散或弯曲失稳。这是由于当风力的升力矩超过桥梁的抗扭能力时, 将导致加劲梁扭转发散; 而当主梁在恒载梁柱效应与风的三分力共同作用下, 结构的有效切线刚度降为零时, 将导致主梁弯曲与扭转复合的失稳, 也就是弯扭失稳。由于大型桥梁在国家基础设施中所占有的重要地位, 其稳定问题备受关注。

结构失稳是指结构在外力增加到某一量值时, 稳定性平衡状态开始丧失, 稍有扰动, 结构变形迅速增大, 使结构失去正常工作能力。在桥梁结构中, 总是要求保持稳定平衡, 也即沿各个方向都是稳定的。研究稳定可以从小范围内观察, 即在邻近原始状态的微小区域内进行研究。为揭示失稳的真谛, 也可从大范围内进行研究。前者以小位移理论为基础, 而后者建立在大位移非线性理论的基础上。引出了研究结构稳定问题的两种形式: 第一类稳定是分支点的失稳问题; 第二类稳定是极值点的失稳问题。

实际工程中的稳定问题一般都表现为第二类失稳。但是, 在土木工程设计中, 由于需要考虑结构上作用的种类繁多的荷载, 如: 自重、活载、风荷载、地震活载、预应力、斜拉索的初张力等, 精确计算第二类稳定是困难的, 同时第一类稳定问题是特征值问

题, 求解方便, 在许多情况下两类问题的临界值又相差不多, 因此, 研究第一类稳定问题仍有着重要的工程意义。

1 大跨径桥梁结构的稳定分析

拱式桥、梁式桥、刚架桥、桁架桥、斜拉桥、吊桥等复杂组合桥梁结构的失稳原因十分复杂, 其面内外失稳可能是耦合的, 要精确计算结构的稳定性, 一般应采用有限单元法。

考虑轴力影响的结构平衡方程可以写为:

$$([K] + [K]_0)\{\delta\} = \{F\} \quad (1)$$

式中: $[K]$ 为结构弹性刚度矩阵, 由单元弹性刚度矩阵集合而成; $[K]_0$ 为结构几何刚度矩阵, 由单元几何刚度矩阵集合而成, 与单元轴力有关 (在一般文献中均可查阅, 如文献[3])。

按式(1), 可以求得在荷载 $\{F\}$ 作用时的位移 $\{\delta\}$, 如果荷载不断增加, 则结构的位移增大。在小变形情况下, 当 $\{F\}$ 增加 λ 倍时, 几何刚度矩阵及杆端力均增加 λ 倍, 因而有:

$$([K] + \lambda[K]_0)\{\delta\} = \lambda\{F\} \quad (2)$$

如果 λ 足够大, 使得结构达到随遇平衡状态, 即 $\{\delta\}$ 变为 $\{\delta\} + \{\Delta\delta\}$, 上列平衡方程也能满足, 则:

$$([K] + \lambda[K]_0)(\{\delta\} + \{\Delta\delta\}) = \lambda\{F\} \quad (3)$$

同时满足式(2)和式(3)的条件是:

$$([K] + \lambda[K]_0)\{\Delta\delta\} = 0$$

$\{\Delta\delta\}$ 有非零解时, 则:

$$|[K] + \lambda[K]_0| = 0 \quad (4)$$

式(4)即为结构稳定问题的控制方程,对应的稳定荷载为 $\lambda\{F\}$ 。

对于桥梁结构而言,结构内力一般由施工过程的恒载内力及运营荷载内力组成,在稳定计算时,可以根据需要按下述过程选择进行。

(1)恒载稳定安全系数 λ_d 。

$$|[K] + \lambda_d [K_1]_\sigma| = 0 \quad (5)$$

式中: $[K_1]_\sigma$ 为一期恒载几何刚度矩阵。

(2)荷载稳定安全系数 λ_2 。

荷载可以是二期恒载、风荷载、活载等,这时有:

$$|[K] + [K_1]_\sigma + \lambda_2 [K_2]_\sigma| = 0 \quad (6)$$

式中: $[K_2]_\sigma$ 为荷载几何刚度矩阵。

最低的特征值 λ_{\min} ,即最小的稳定安全系数相应

的特征向量就是失稳模态。

2 工程背景

根据威海市公路网的建设规划,未来威海市的公路网将由“三纵、三横、一环”组成,规划建设的一环公路是威海市公路主骨架的一环,长会口大桥是威海市环海公路的重要组成部分。长会口大桥主桥跨径组合为117 m+230 m+117 m的预应力混凝土双塔双索面斜拉桥,塔、梁、墩全固结体系,边、中跨之比为0.508 7,桥塔呈H形索塔,主桥各塔均布设13对竖琴式斜拉索,主梁采用双边主肋形式的预应力混凝土结构。主梁顶、底面全宽为20.1 m,边肋高2.0 m。主桥总体布置如图1所示。

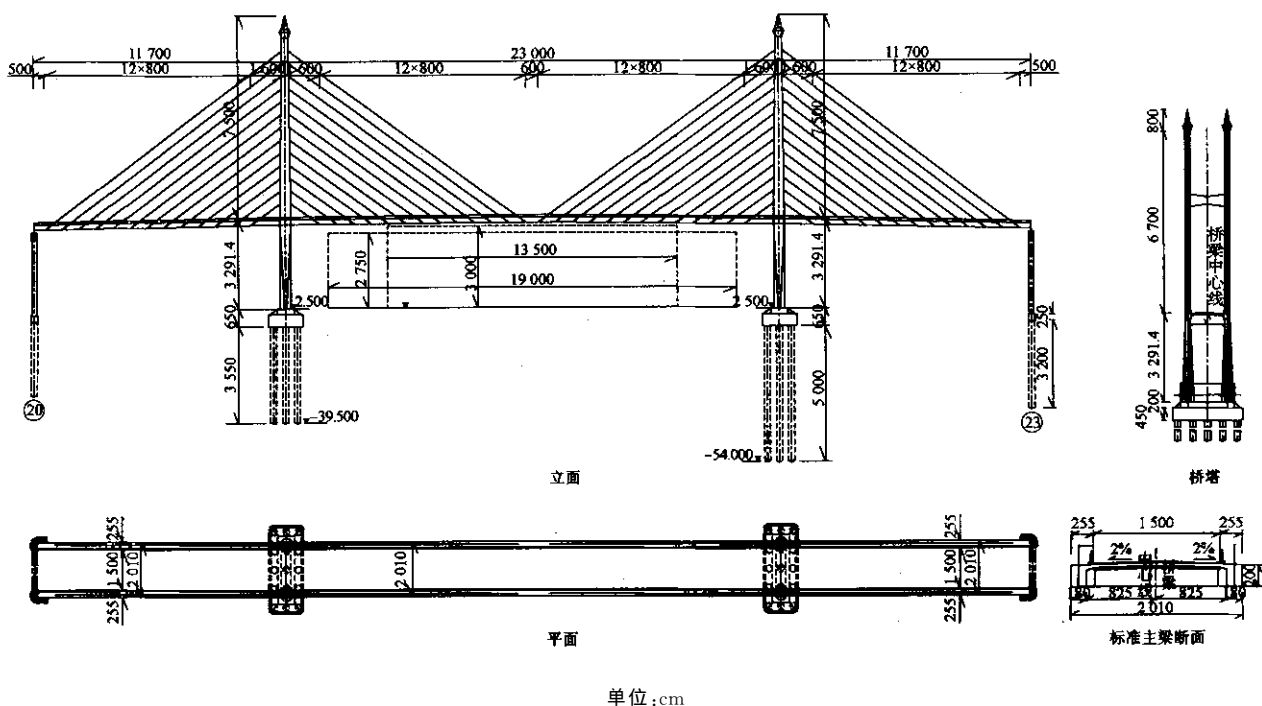


图1 长会口大桥主桥布置

3 稳定分析

3.1 三维有限元模型的建立

采用美国 ANSYS 公司授权的大型有限元计算软件 ANSYS,建立全桥相似模型有限元模型。主梁采用单脊梁式模型,整个梁的刚度(轴向刚度 EA ,两个方向的抗弯刚度 EJ_x 、 EJ_y 和绕轴线的自由扭转刚度 EJ_d)以及分布质量惯矩 I_m 集中在轴线上。横梁、主塔、墩等采用空间梁单元,斜拉索采用空间杆单元模拟,并计入其拉索垂度的影响,有限元模型见图2所示。

3.2 桥塔上的横梁位置对结构稳定性的影响

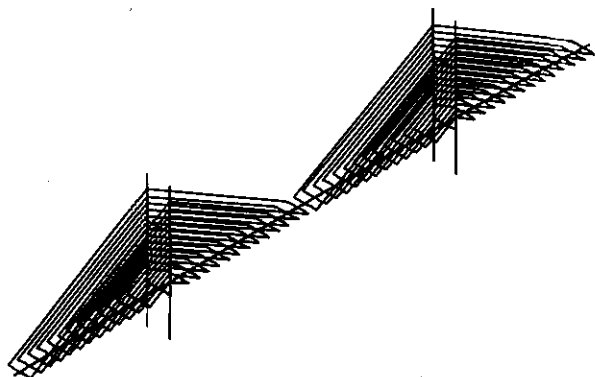


图2 整体稳定分析有限元模型

桥塔上横梁的布置,关系着全桥的整体受力和稳定问题。为分析长会口大桥桥塔的稳定,将模型进行简化,去除斜拉索、主梁、桥面铺装,仅建立裸塔模型,同时去除斜拉索保向力对稳定性的影响,将恒载作用下的斜拉索索力直接以集中力的形式作用在桥塔上。参照国内外同类型桥梁设计时所考虑的上横梁的布置,本文计算分析了桥塔上横梁不同布置

方式时的稳定情况,当桥塔不设置上横梁时,其稳定系数为 4.08,失稳模态为面外失稳,如图 3 所示;当在桥塔塔顶设置一道上横梁时,其稳定系数为 7.51,失稳模态也是面外失稳,如图 4 所示;当在桥塔上距主梁顶面 41.5 m 的桥塔处设置一道上横梁时(桥面以上桥塔的黄金分割点),其面外失稳系数提高到了 16.14,如图 5 所示。

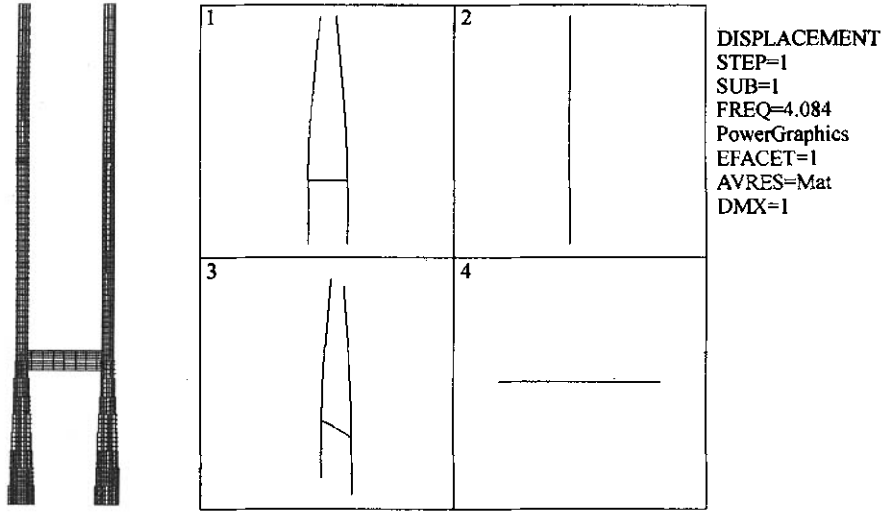


图 3 桥塔无上横梁时结构构造及失稳模态

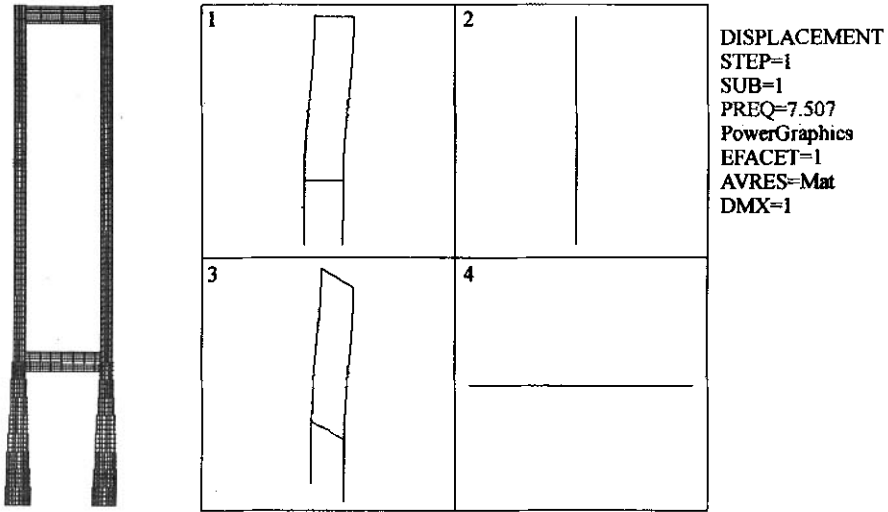


图 4 桥塔塔顶设上横梁时结构构造及失稳模态

由此可知,当桥塔不设置上横梁时,在裸塔施工过程中,其安全系数较低,故需增设一道上横梁,以提高裸塔在施工过程中的安全性。比较在塔顶及塔中部增设一道上横梁时,在桥塔中部增设一道横梁时的安全系数比在塔顶增设一道横梁时的安全系数有了大幅度的提高,而且在桥塔中部黄金分割点

处增设一道上横梁,从美观上来说,也比塔顶增设上横梁更有视觉上的美感。因此,从受力及美观上来考虑,最后确定全桥上横梁的布置如图 5 所示。

3.3 全过程稳定计算

针对该桥主体结构及施工过程,确定了如下的结构稳定计算工况。

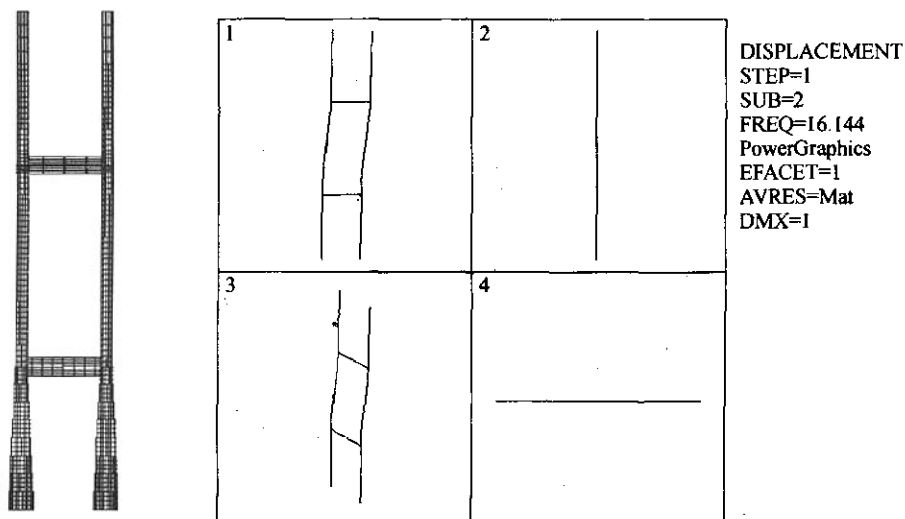


图5 桥塔中间设上横梁时结构构造及失稳模式

工况Ⅰ:施工过程中最大单悬臂状态(自重+施工荷载(1 kN/m^2)+纵向风载);

工况Ⅱ:成桥后恒载状态(自重+二期恒载);

工况Ⅲ:恒载+两车道荷载状态(自重+二期恒载+两车道活载(满布载)+制动力+纵向风载);

工况Ⅳ:恒载+四车道荷载状态(自重+二期恒载

+四车道活载(满布载)+制动力+纵向风载)。

施工状态下的风载,采用30年重现期的风速;汽车荷载按新规范中均布荷载加集中力进行,车道折减、制动力按现行规范计算;运营状态与活载组合时,桥面风速按 25 m/s 考虑。

计算结果见图6~图9所示。

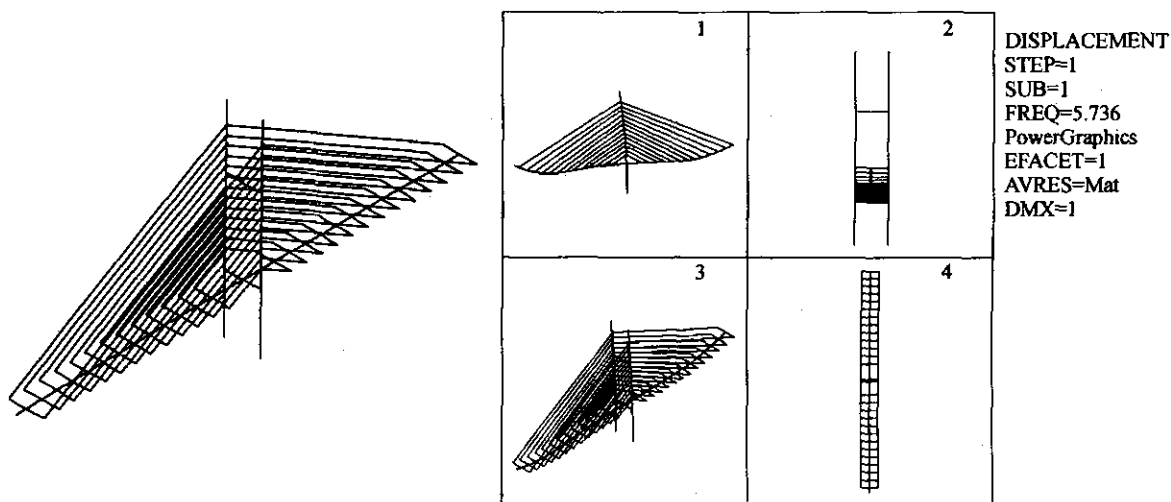


图6 最大单悬臂状态时计算模型及失稳模式

由以上分析可知,全桥在几个主要工况下的稳定安全系数均高于我国《公路斜拉桥设计规范(试行)》规定的斜拉桥的弹性稳定安全系数应大于4.0的要求,故本桥的安全稳定性是有保障的。

4 结论

通过对长会口大桥结构在施工过程及运营阶段

的稳定分析,可以得出如下几点结论。

(1)当桥塔不设置上横梁时,在裸塔施工过程中,其安全系数较低,故需增设一道上横梁,以提高裸塔在施工过程中的安全性。比较在塔顶及塔中部增设一道上横梁时,在桥塔中部增设一道横梁时的安全系数比在塔顶增设一道横梁时的安全系数有了大幅度的提高,而且在桥塔中部黄金分割点处增

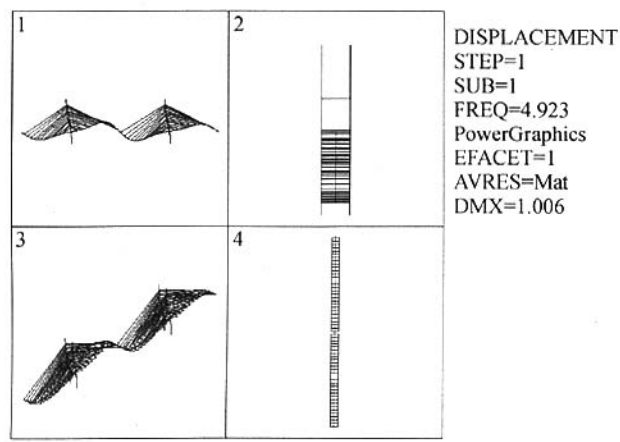


图 7 成桥后恒载状态时失稳模式

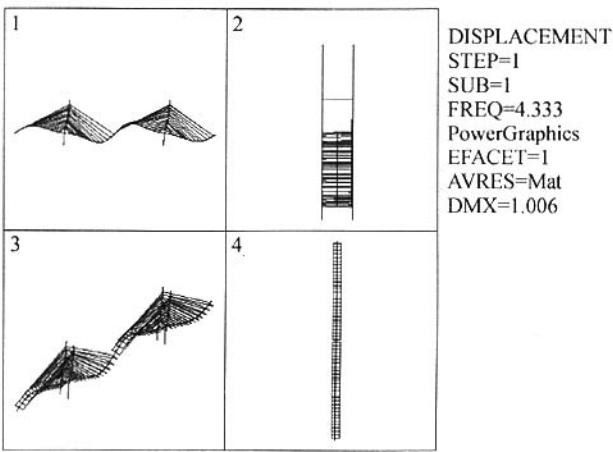


图 9 自重+二期恒载+四车道活荷载(满布载)
+制动力+纵向风载状态时失稳模式

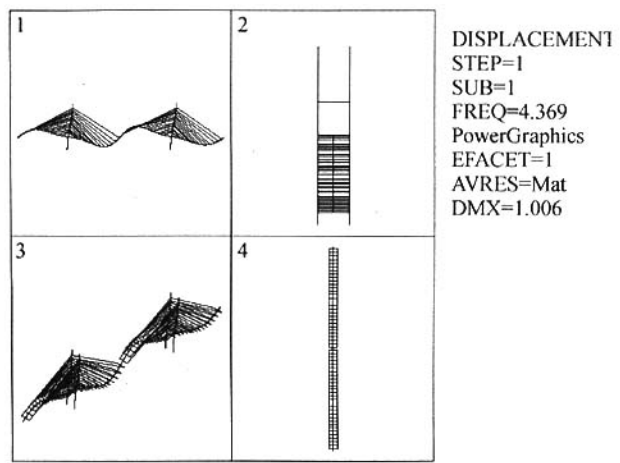


图 8 自重+二期恒载+两车道活荷载(满布载)
+制动力+纵向风载状态时失稳模式

设一道上横梁,从美观上来说也比塔顶增设上横梁更有视觉上的美感。因此,从受力及美观上来考虑,最后确定了全桥上横梁的布置。从而保证了该桥在施工过程中以及运营阶段的稳定安全性。

(2)长会口大桥在施工过程中以及成桥运营状态中,其弹性稳定安全系数均大于 4.0,因而该桥在施工阶段和运营阶段不会发生整体失稳破坏。

(3)对某一座具体的斜拉桥而言,在桥塔上采用何种的横梁布置方式,应全面地考虑结构的稳定性及相关的经济情况,对于横向较宽的大跨径斜拉桥而言,增设桥塔横梁是具有实际工程意义的。

参考文献:

[1] 葛耀君. 索—塔—梁耦合作用下的斜拉桥侧倾稳定性[J]. 中国公路学报, 1995, 8(4).
[2] 李国豪. 桥梁结构稳定与振动[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1992.
[3] 项海帆, 刘光栋. 拱结构的振动与稳定[M]. 北京: 人民交通出版社, 1990.
[4] Ansys 动力学分析指南[Z].
[5] JTJ 027—96, 公路斜拉桥设计规范(试行)[S].

首都机场高速公路运营 13 年首次大修

2006 年 7 月 16 日 23 时,首都机场高速公路正式开始大修,预计 2006 年“十一”前完工。

由于白天是飞机进离港比较集中的时间,为保证人们出行的需要,首都机场高速公路白天将保证运营,大修工程全部安排在 23 时至次日 6 时进行,夜间施工时将会对部分路段实施交通管制,采取分流绕行措施。

首都机场高速公路全长 18.735 km,是首都机场与北京市区间的重要通道。1993 年通车的首都机场高速公路至今已安全运营了 13 个年头,交通总流量达到 3.434 亿多辆次,路面已出现大面积的裂缝和破损,沥青老化现象十分严重。此次大修除翻修路面外,还将更换道路沿线的所有路灯并对路灯进行加密,以提高夜间照明度,监控、通讯、收费设施也将升级改造,改造完成后,通过公路旁的显示屏,司机可及时掌握北京市区的道路现状,以选择最佳路线。