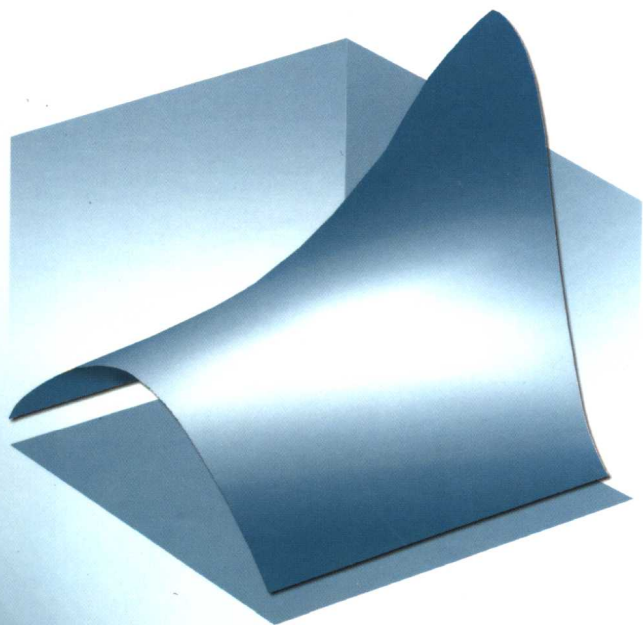


水泥 混凝土路面改建技术

Shuini Hunningtu Lumian Gaijian Jishu 

刘 荣 刘效尧 黄晓明 编著

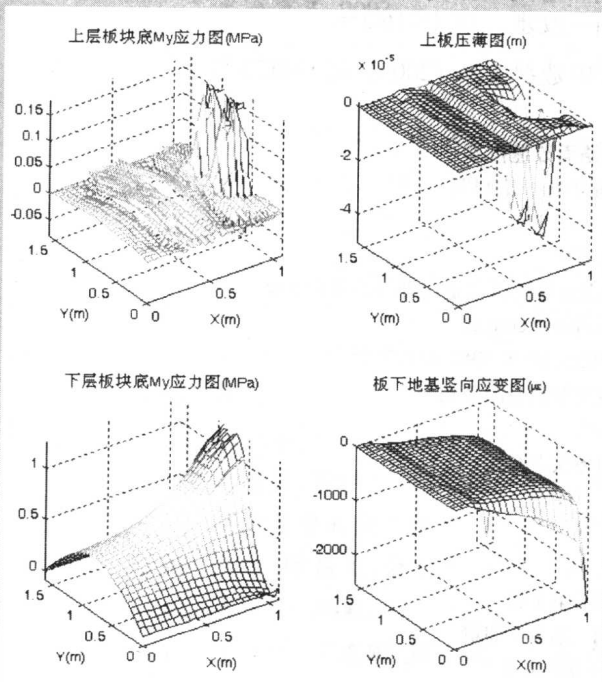


人民交通出版社
China Communications Press

水泥 混凝土路面改建技术

SHUINI HUNNINGTU LUMIAN GAIJIAN JISHU

刘 荣 刘效尧 黄晓明 编著



人民交通出版社

内 容 提 要

本书以实体工程为依托,介绍了水泥混凝土路面改建的设计计算与施工工艺,内容包括高速公路水泥混凝土路面评价、改建时机的预测、改建工艺的选择与实施、结构设计方法的分析和讨论。本书共三部分,第一部分是工程应用,第二部分是分析计算,第三部分是路面结构计算示例。

本书适合于路面改建施工、设计和技术管理人员参考,亦可供路面改建研究人员和相关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水泥混凝土路面改建技术 / 刘荣, 刘效尧, 黄晓明编
著. —北京: 人民交通出版社, 2005.12
ISBN 7-114-05840-3

I. 水... II. ①刘... ②刘... ③黄... III. 高速公路—水泥混凝土路面—改建 IV. U416.216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 134173 号

书 名: 水泥混凝土路面改建技术

著 作 者: 刘 荣 刘效尧 黄晓明

责任编辑: 曲 乐

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) 85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京交通印务实业公司

开 本: 787 × 980 1/16

印 张: 14.5

字 数: 232 千

版 次: 2006 年 1 月 第 1 版

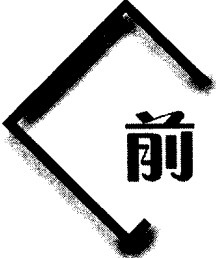
印 次: 2006 年 1 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-05840-3

印 数: 0001 ~ 3000 册

定 价: 26.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



前言 QIANYAN

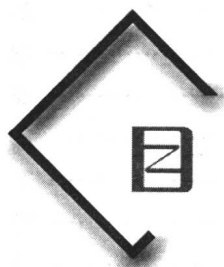
本书以实体工程为依托,介绍了水泥混凝土路面改建的设计计算与施工工艺。内容包括高速公路水泥混凝土路面评价、改建时机的预测、改建工艺的选择与实施、结构设计方法的分析和讨论。本书分为三大部分,第一部分是时机预测、方案设计和比较、工艺流程,包括第一章至第五章;第二部分是机理分析和计算技术,包括第六章至第八章;第三部分是路面结构计算示例,列为附录。第二部分是第一部分的理论基础,各章之间保持相对独立。管理和实施人员,设计研究人员都可以在书中找到需要的内容;既可以只读本专业的内容,也可以与相邻领域的问题互相呼应。其目的是希望能在设计研究和管理实施人员之间建立一座相互沟通的桥梁。

因为本书讨论的问题具有实践基础,可操作性、可检验性、可持续性较强。改建时机的预测和施工工艺流程都是从具体工程中总结出来的,对类似工程的参考和指导作用比较可靠。

书中对于水泥混凝土路面改建的结构设计理论和方法做出了解释,考虑了断裂混凝土旧路面的真实工作状态,建立了‘有接缝叠层板法—数值力学法’。是对传统的经验法的一个校核和检验,对连续层状理论的改进和补充,也是对三维实体数值方法的简化。并用此理论基础编制了实用计算程序,书中全部计算都使用了该程序。如果需要,读者可以参考第八章的程序功能和框图编制专用计算程序。

本书由刘荣、刘效尧执笔,黄晓明审定。

编 者
2005 年 10 月



目 录 MULU

第一篇 工程应用

第一章 路面的检测与评价	3
第一节 水泥混凝土路面评定标准	3
1. 公路水泥混凝土路面养护技术规范	3
2. 公路路面养护技术规范	4
3. 公路水泥混凝土路面设计规范	5
第二节 沥青混凝土路面评定标准	6
第三节 结构检测时间段	7
1. 时间术语定义	8
2. 检测结束时间估计	9
3. 检测开始时间估计	10
第二章 水泥混凝土路面改建工艺	12
第一节 旧路面处理	12
1. 处理方法分类	12
2. 直接加铺法	13
3. 清除重铺法	16
4. 冲击压实法	16



第二节 白加白工艺	26
1. 分离式加铺	27
2. 结合式加铺	27
3. 部分结合式加铺	27
4. 断裂稳固‘白加白’特征	28
第三节 白加黑工艺	28
1. 防止反射裂缝的几个措施	29
2. 弯拉裂缝的预防	32
3. 永久性路面(Perpetual Pavement)	33
第三章 水泥混凝土路面养护对策和改建时机	35
第一节 路面维护与寿命	35
1. 水泥混凝土路面的路龄路况与维护措施	35
2. 沥青路面的路龄路况与维护措施	38
第二节 几个工程改建时机的回顾	41
1. NH 高速公路安徽段改建时机的回顾	41
2. G205-TC 段改建时机的回顾	43
3. WH 高速公路改建时机的回顾	43
4. HCW 高速公路改建时机的回顾	45
5. XG 高速公路改建时机的预测	48
6. GJ 高速公路改建时机的预测	49
第四章 水泥混凝土路面改建方案	62
第一节 断裂稳固‘白加白’	62
1. 美国断裂稳固‘白加白’工程	62
2. 中国断裂稳固‘白加白’工程	63
第二节 断裂稳固‘白加黑’工程	65
1. 美国断裂稳固‘白加黑’工程	65
2. 中国断裂稳固‘白加黑’工程	67
第五章 工程设计示例	74
第一节 设计概况	74
1. PCI 和断板率	74
2. 板底回弹模量和板面弯沉	74
3. 设计标准和方法	75
4. 厚度计算	77

第二节 加铺复核计算	77
1. 基本参数和计算图示	78
2. 弯沉和弯拉计算	79
3. 计算结果评价	85

第二篇 分析计算

第六章 加铺路面结构的力学分析与计算	89
第一节 水泥混凝土路面改建设计的现状与发展	89
1. 高级路面结构计算的现状与发展	89
2. 水泥混凝土路面加铺‘黑’或‘白’色路面的结构 分析方法	92
第二节 三维有接缝叠层板法	94
1. 加铺设计力学计算模型	94
2. 厚板单元	101
第三节 关于裂缝嵌锁传递	106
1. 模型和算法	106
2. 计算和分析	106
第四节 关于计算网格的划分	108
1. 算例	108
2. 结论	109
第五节 路面加铺层的结合板单元及弯拉开裂	110
1. 多层结合板中面高	110
2. 多层结合板等效抗弯刚度	111
3. 多层结合板应力	111
4. 多层结合板应变	112
5. 多层结合板动静荷载的弯拉裂缝高度分析	112
第六节 三维压缩和剪切夹层单元	119
1. 三维压缩夹层单元	120
2. 三维剪切夹层单元	121
第七节 关于光滑刚性地基上薄层表面局部荷载问题	124
1. 二维问题解答	124



2. 三维叠层有限单元法	126
3. 结论	128
第八节 温差响应	128
1. 地温分析	128
2. 板单元的温差等效荷载	140
第七章 板块断裂和板块群力学分析与计算	141
第一节 冲击断裂尺度的分析	141
1. 冲击式压路机工作机理	141
2. 计算弯矩	141
3. 分析与结论	143
第二节 断裂板块群弯沉特性分析与测定	143
1. 断裂板块弯沉对周边板块和地基的敏感度分析	144
2. 破碎板块弯沉对轮印形状的敏感度分析	145
3. 破碎板块弯沉对计算网格疏密的敏感度分析	146
4. 表面弯沉和计算回弹模量之间的对应关系	146
5. 分析与结论	148
6. 承载板的验证和讨论	149
第三节 ‘断裂稳固’混凝土板块群的等效抗弯刚度	157
1. ‘简单缝’密度的四种工况	158
2. 计算参数	159
3. ‘简单缝’密度计算结果归纳	159
4. 等效损伤刚度分析	162
5. 结论	163
第四节 板块群动力响应	163
1. 计算模型	164
2. 参与振动的地基质量比	165
3. 系统阻尼	165
4. 振型叠加法	166
5. 实测分析	169
第五节 压实标准动态分析	171
1. 冲击压实过程	172
2. 板块冲击压实比较	172

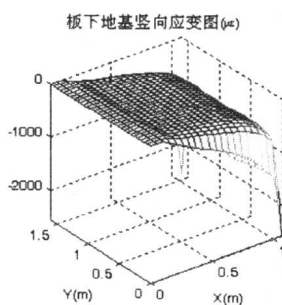
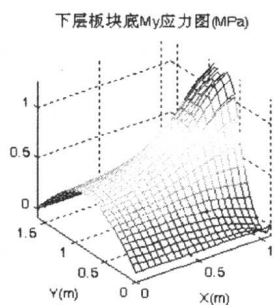
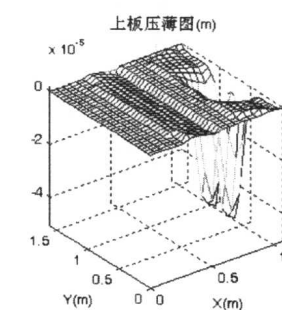
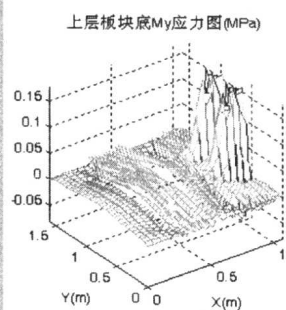
第六节 板底脱空分析	175
1. 板中脱空	175
2. 板角脱空	177
3. 结论	180
第八章 计算程序功能和框图	181

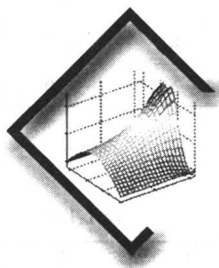
附录 路面结构计算示例

例一 XY 对称、1/4 板块群、中心双轮荷载输出图形	205
例二 全域板块群、中心板边缘双轮荷载输出图形	214
例三 大板纵缝边缘双轮荷载输出图形	217
参考文献	220

【第一篇】

工程应用





第一章 路面的检测与评价

对于路面的‘使用质量’做定期的检测是路面维修养护方案的判定依据,而‘使用质量’是由‘结构潜力’决定的。‘结构潜力’有‘路面破损’程度和剩余‘路面强度’两个方面。‘路面破损’分为‘材料类破损’和‘结构类破损’。‘结构类破损’应该有经典的力学行为。但是,路面是一个‘长线’结构,材料性质的区域离散性较大,它不是具有理想力学行为的材料,结构的力学分析困难。在水泥混凝土路面中这两类破损还比较容易区分,‘结构类破损’多多少少还是可以用力学模型来分析的;在沥青混凝土路面中由于应力状态具有弹、塑、粘的多重性,材料性质的离散性更大,这两类破损交织在一起难以区分,用经典力学模型也不容易描述,不得不主要依赖经验方法。因此,在路面评价中不但路面‘使用质量’评定标准是以综合指标制定的;而且‘结构潜力’也往往是间接的指标。

第一节 水泥混凝土路面评定标准

交通部对水泥混凝土路面养护颁布了两个行业标准,一是《公路水泥混凝土路面养护技术规范》(JTJ 073.1—2001),另一个是《公路养护技术规范》(JTJ 073—96)。此外,在《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)中又补充了一些力学标准。

1. 公路水泥混凝土路面养护技术规范

在《公路水泥混凝土路面养护技术规范》(JTJ 073.1—2001)中对水泥混凝土路面养护状况有如下评定标准。



(1)路面破损状况等级评定标准,见表 1-1-1。

路面破损状况等级评定标准

表 1-1-1

评 定 等 级	优	良	中	次	差
路面状况指数 PCI	≥ 85	84 ~ 70	69 ~ 55	54 ~ 40	< 40
断板率 DBL(%)	≤ 1	2 ~ 5	6 ~ 10	11 ~ 20	> 20

(2)行驶质量评定标准,见表 1-1-2。

行驶质量评定标准

表 1-1-2

评 定 等 级	优	良	中	次	差
行驶质量指数 RQI	≥ 8.5	8.4 ~ 7.0	6.9 ~ 4.5	4.4 ~ 2.0	< 2.0

表中行驶质量指数 RQI 按下式计算,

$$RQI = 10.5 - 0.75IRI \quad (1-1-1)$$

式中,IRI(m/km)为路面平整度指数。

(3)路面抗滑能力评定标准,见表 1-1-3。

路面抗滑能力评定标准

表 1-1-3

评 定 等 级	优	良	中	次	差
构造深度(mm)	≥ 0.8	0.7 ~ 0.6	0.5 ~ 0.4	0.3 ~ 0.2	< 0.2
抗滑值 SRV	≥ 65	64 ~ 55	54 ~ 45	44 ~ 35	< 35
横向力系数 SFC	≥ 0.55	0.54 ~ 0.45	0.44 ~ 0.38	0.37 ~ 0.30	< 0.30

(4)路面承载能力评定标准

原条文规定按《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012)中规定方法计算,该规范(JTJ 012—94)已作废,现行规范已更换为(JTG D40—2002)。

2. 公路路面养护技术规范

在《公路路面养护技术规范》(JTJ 073—96)中对水泥混凝土路面养护状况有如下评定标准。见表 1-1-4。

评 定 标 准

表 1-1-4

评 价 指 标	优	良	中	差
路面状况指数(PCI)	≥ 85	70 ~ 85	50 ~ 70	< 50
平整度(σ)	≤ 2.5	2.5 ~ 3.5	3.5 ~ 4.5	> 4.5
抗滑系数(F)	≥ 55	48 ~ 55	38 ~ 48	< 38
路面综合评定指标(SI)	≥ 8.5	6.9 ~ 8.5	4.5 ~ 6.9	< 4.5

其中,SI 为 PCI、 σ 、 F 三者的加权综合值。

$$SI = S_1 P_1 + S_2 P_2 + S_3 P_3 \quad (1-1-2)$$

式中: $S_1 = \text{PCI}/10$,

$$S_2 = \begin{cases} 10 & \sigma \leq 2 \\ 17 - 2.5\sigma & 2 < \sigma \leq 6 \\ 0 & \sigma > 6 \end{cases}$$

$$S_3 = \begin{cases} 10 & F > 55 \\ 0.4F - 0.1 & 38 < F \leq 55 \\ 0 & F \leq 38 \end{cases}$$

高速公路和一级公路 P_1 、 P_2 、 $P_3 = 0.6$ 、 0.2 、 0.2 ;

二级和二级以下公路 P_1 、 P_2 、 $P_3 = 0.75$ 、 0.2 、 0.05 。

3. 公路水泥混凝土路面设计规范

《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40—2002)中对水泥混凝土路面养护状况补充了一些力学指标。

(1)路面破损状况等级评定标准,见表 1-1-5。

路面破损状况分级标准

表 1-1-5

等 级	优 良	中	次	差
断板率 DBL(%)	≤ 5	6 ~ 10	11 ~ 20	> 20
平均错台量(mm)	≤ 5	6 ~ 10	11 ~ 15	> 15

表 1-1-5 中 DBL 与‘JTJ 073.1—2001’(见表 1-1-1)基本一致;以几何指标‘平均错台量’替代了‘JTJ 073.1—2001’中的综合指标 PCI。

(2)接缝传荷能力和板底脱空状况标准,见表 1-1-6。

接缝传荷能力分级标准

表 1-1-6

等 级	优 良	中	次	差
接缝传荷系数 k_j (%)	> 80	80 ~ 56	55 ~ 31	< 31



关于板底脱空状况,在条文中无量化指标,叙述为‘板底脱空可根据面层板角隅处的多级荷载弯沉测试结果,并综合考虑唧泥和错台发展程度及接缝传荷能力进行判别。’在条文说明中解释脱空判断困难,可观察‘荷载—弯沉’曲线判断,结合雨天唧泥和角隅、边缘‘捶击听音’综合判断。在本书第七章第六节深入的套论了这个问题。

第二节 沥青混凝土路面评定标准

在《公路路面养护技术规范》(JTJ 073—96)和《公路沥青路面养护技术规范》(JTJ 073.2—2001)中详尽地规定了沥青混凝土路面的评定标准,二者基本相同。路面综合指标包含四个方面,两个‘使用质量’指标是‘平整度’和‘抗滑系数’,两个‘结构潜力’指标是‘破损’和‘强度’。这里的‘破损’主要是‘材料类破损’,也有‘结构类破损’的表象;‘强度’指标实际上是结构综合变形量。

路面综合指标计算分四个步骤:①首先应取得现场调查指标数值;②由调查指标数值计算评价指标;③由评价指标查出其模糊评价分值;④再由模糊评价分值和权重系数计算其综合评价。

(1)路面评价指标关系和算式,见表 1-2-1。

路面评价指标关系和算式

表 1-2-1

指标	平整度	破损	强度	抗滑系数
调查指标	国际平整度指数 $IRI = a + b \times BI$ BI:平整度设备测试值 a, b :标定系数	路面综合破碎率 $DR = D/A$ D :路段折合破损面积 A :路段总面积	路面代表弯沉 I 路面允许弯沉 I_0	横向力系数 SFC 摆值 BPN
评价指标	行驶质量指数 $RQI = 11.5 - 0.75 \times IRI$	路面状况指数 $PCI = 100 - 15DR^{0.412}$	路面强度系数 $SSI = I_0/I$	横向力系数 SFC 摆值 BPN
综合指标	路面质量指数 $PQI = PCI' \times P_1 + RQI' \times P_2 + SSI' \times P_3 + SFC' \times P_4$ PCI', RQI', SSI', SFC' : PCI, RQI, SSI, SFC 的模糊评价分值 P_1, P_2, P_3, P_4 : PCI, RQI, SSI, SFC 的权重			

(2)模糊评价分值和建议权重,见表 1-2-2。

路面模糊评价分值和建议权重

表 1-2-2

模糊评价分值 PCI' RQI' SSI' SFC'		优 92	良 80	中 65	次 50	差 30	建议 权重
PCI		≥ 85	70 ~ 85	55 ~ 70	40 ~ 55	< 40	0.3
RQI		≥ 8.5	7.0 ~ 8.5	5.5 ~ 7.0	4.0 ~ 5.5	4.0	0.3
SSI	高速、一级	≥ 1.2	1.0 ~ 1.2	0.8 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	< 0.6	0.3
	其他等级	≥ 1.0	0.8 ~ 1.0	0.6 ~ 0.8	0.4 ~ 0.6	< 0.4	
SFC		≥ 0.5	0.4 ~ 0.5	0.3 ~ 0.4	0.2 ~ 0.3	< 0.2	0.1
BPN		≥ 42	37 ~ 42	32 ~ 37	27 ~ 32	< 27	

注:建议权重 P_1 、 P_2 、 P_3 可有正负 0.05 的变化范围,但是 $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1$ 。

(3)路面总和(模糊)评价和分值,见表 1-2-3。

路面总和(模糊)评价和分值

表 1-2-3

综合(模糊)评价分值	优 92	良 80	中 65	次 50	差 30
PQI	≥ 85	70 ~ 85	55 ~ 70	40 ~ 55	< 40

第三节 结构检测时间段

在公路改建之前同时要对桥梁和构造物进行加载检测,判断其病害和承载能力,以确定是否要做同步维修和加固。由于在加载检测前对检测时段的确定不太严格,往往造成检测成果不准确,甚至造成检测失败。例如,某次在冬季零点以后加载检测一座 25m 跨度轻型坦拱桥时,曾经发现凌晨天空刚刚发白后,结构应变和挠度急剧变化,以至于无法判断检测结果中温度响应的比例。只得补做试验,在天空发白之前结束观测。因此,有必要对检测时段作明确限制。

一般在加载检测之前要对当地气温或结构温度做连续测定,以确定合适时间段,寻找温度变化尽可能小的时段。在测定之前可以按本节方法作出初步估计。

对于加载测定历时很短的测定项目一般不受时间段的限制,例如弯沉。



在做对温度不敏感的加载测试时也不受时间段的限制,例如承载板试验。所以绝大部分路基、路面加载测试都没有特殊时间段限制。

如果要对路面结构做加载应力、应变检测,时间跨度较大,温度漂移不可忽略,就要考虑日照、气温和结构温度的影响。在第六章第八节中对地表温度和地下温度变化的分析得到逐月逐日温度分布的规律,这个规律可以作为寻找温度平稳时段的参考。本节从天文学的观点介绍了一种比较简单的方法,用以初步估计结构检测的结束时间,以寻找温度平稳时段。

对路基、路面的一些物理指标的测定都有自己特定的温度规定,可参照现行的试验规程进行,不在本节讨论范围。

1. 时间术语定义

因为对结构物加载检测都选择在午夜以后,结构物温度稳定、气温变化梯度很小时进行,以排除温度影响。如果时间控制不当,最后一批数据会延伸到凌晨,这一时段气温变化梯度很大,以至于数据失真,所以要关心凌晨的定义。

日出时刻(T_o):指太阳圆面上缘于地平线相切时刻。由于大气折射地平线附近的物体看起来要高 $34' \sim 35'$,需要修正;此外,计算都是针对太阳圆心的,还要加上太阳视半径 $16'$ 。因此,太阳中心的天顶距 $Z = 90^\circ 50' \sim 90^\circ 51'$ 。

晨昏蒙影:指在日出前和日落后天空发亮的现象。在蒙影持续时间,气温梯度急剧变化,结构温度变形较快;晨昏蒙影时间记为 t 。

晨光时刻(T) = 日出时刻(T_o) - 晨昏蒙影持续时间(t)。

民用晨昏蒙影时间(t_2)和天文晨昏蒙影时间(t_1):在北纬 $20^\circ \sim 50^\circ$ 地区,当地天文晨昏蒙影持续时间比当地民用晨昏蒙影持续时间约短 $50 \sim 80\text{min}$ 。所以有如下两个晨光时刻的定义。

天文晨光时刻:太阳在地平线以下 18° ,这时天空完全黑暗,肉眼可见的最暗的星已消失。即

$$T_1 = T_o - t_1 \quad (1-3-1)$$

民用晨光时刻:太阳在地平线以下 6° ,这时天空已经明亮,肉眼可见的最亮的星已消失。即

$$T_2 = T_o - t_2 \quad (1-3-2)$$

在安排检测计划时要在‘天文晨光时刻 T_1 ’结束,尽可能不进入‘民用晨光时刻 T_2 ’。