

高等学校实验课系列教材

# 道路与桥梁工程 试验检测技术

DAOLU YU QIAOLIANG GONGCHENG SHIYAN JIANCE JISHU

● 邢世建 编

EXPERIMENTATION



重庆大学出版社

# 道路与桥梁工程 试验检测技术

邢世建摇编

重庆大学出版社

## 内 容 提 要

本教材根据路桥工程紧密相连的特点编写。全书分为两篇,第一篇介绍道路工程试验检测,第二篇分章叙述了桥梁结构试验、桥梁上部结构检测、桥梁荷载试验以及桥梁基础检测的基本原理和方法,每章附有一定数量的思考题和习题。

本书内容精炼实用,重点突出路桥工程试验检测能力的培养。既可作为高等院校土木工程专业公路与城市道路方向、道路与桥梁方向、桥梁与隧道方向、交通土建方向的本科生教材,亦可作为道路桥梁工程试验检测人员的培训教材。此外,还可供从事市政工程和桥梁工程专业的技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

道路与桥梁工程试验检测技术 / 邢世建编. — 重庆 :

重庆大学出版社, 2009.12

ISBN 978-7-5624-5444-4

I. ①道... II. 邢... III. ①道路试验(道路结构)

—检测—高等学校—教材 ②桥梁试验—检测—高等学校

—教材 IV. ①U447.3②U447.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第192900号

## 道路与桥梁工程试验检测技术

邢世建编

责任编辑 姚正坤 版式设计 彭摇宁

责任校对 李定群 责任印制 秦摇梅

\*

重庆大学出版社出版发行

出版人 张鸽盛

社址 重庆市沙坪坝正街 87号重庆大学(粤区)内

邮编 400018

电话 (023) 65103321 65103322

传真 (023) 65103320 65103323

网址 <http://www.cqup.com.cn>

邮箱 [zhanggs@cqup.com.cn](mailto:zhanggs@cqup.com.cn) (市场营销部)

全国新华书店经销

重庆升光电力印务有限公司印刷

\*

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 18.5 字数 360千字  
2009年 12月第 1版 2009年 12月第 1次印刷

印数 1—5000

ISBN 978-7-5624-5444-4 定价 35.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究。

# 前言

我国公路与桥梁工程领域取得的巨大成就,固然与材料科学、施工技术、设计分析理论以及科技的发展密切相关,同时也离不开试验技术的进步和发展,因为试验一直是人们获得经验的一种行之有效的重要途径。

公路与桥梁建设的特点是线长面广,工程和投资大,影响因素复杂等。在施工过程中,任何一个环节出现问题,都会给工程质量带来严重的危害,甚至会造成巨大的损失,因此,实行严格的质量控制,其意义十分重大。对公路与桥梁结构进行试验检测,既是一项控制工程质量的重要手段,也是评定工程质量必不可少的技术措施。本课程主要是结合我国公路与桥梁建设的实际情况,面向城市道路工程专业、城市桥梁工程专业、土木工程本科学生,系统全面地介绍道路与桥梁结构试验检测技术、检测方法以及工程质量评定方法,使学生对路桥测试技术有一个较为全面的了解,并掌握初步的测试分析技术,为今后从事路桥试验检测、科研、设计或施工等工作打下良好的基础。

本教材注重培养学生分析问题和解决问题的能力,每章附有一定数量的思考题和习题,适用于高等院校的土木工程专业道路与桥梁方向、桥梁与隧道方向、交通工程方向的学生使用,也可供土建工程有关专业的师生选用。此外,还可以供从事市政工程和桥梁工程工作的技术人员参考使用。

张亮亮教授对本书内容进行了审阅,并提出了宝贵建议,在此表示衷心的感谢。由于路桥结构检测技术涉及的各学科知识很多,而且知识和测试设备都不断在更新和发展,再加之编写时间仓促,水平有限,书中疏漏之处,在所难免,诚挚希望读者批评指正。

# 目 录

## 第 1 篇 道路工程试验检测

第 1 章 路基路面几何尺寸及路面厚度测定 .....	1
1.1 公路路基路面现场测试随机选点方法 .....	1
1.2 路基路面几何尺寸检测 .....	1
1.3 路面厚度检测 .....	1
1.4 练习题 .....	1
第 2 章 路基路面压实度检测 .....	2
2.1 概述 .....	2
2.2 环刀法、灌砂法和灌水法测定压实度 .....	2
2.3 钻芯法测定沥青面层压实度 .....	2
2.4 核子仪测定压实度 .....	2
2.5 路基路面压实度评定 .....	2
2.6 练习题 .....	2
第 3 章 路基路面平整度检测 .....	3
3.1 概述 .....	3
3.2 3m 直尺与连续式平整度仪测定平整度 .....	3
3.3 车载式颠簸累积仪测定平整度 .....	3
3.4 练习题 .....	3
第 4 章 路面抗滑性能检测 .....	4
4.1 概述 .....	4
4.2 路面构造深度测定 .....	4
4.3 路面摩擦系数测定 .....	4
4.4 练习题 .....	4
第 5 章 路基路面强度与弯沉检测 .....	5
5.1 承载板法测定土基回弹模量 .....	5
5.2 贝克曼梁测定路基路面回弹模量 .....	5
5.3 路基与柔性路面弯沉测定 .....	5



# 第 1 篇

## 道路工程试验检测

# 第 1 章

## 路基路面几何尺寸及路面厚度测定

摇摇

### 摇摇公路路基路面现场测试随机选点方法

对公路路基路面各个层次进行各种测定时,为采取代表性试验数据,往往用随机取样选点的方法确定测定区间、测定断面、测点位置。随机取样选点法是按照数理统计原理,在路基路面现场测定时决定测定区间、测定断面、测点位置的方法。

随机取样选点法需要的工具有:钢尺、皮尺、硬纸片(编号员~ 圆,共 圆块,每块大小圆缘伊圆缘,装在一个布袋内)、骰子(圆个)、毛刷、粉笔等。







(圆)从第 圆栏 粤列中挑出小于 远 的数为 园缘 园远 园源 园园 园猿 园员

(猿)从 月列中挑出与这 远 个数对应的 远 个数为 园猿 园缘 园源 园园 园猿 园远

(源)取样路段长度为 员园 皂,计算出 远 个乘积分别为 :源缘 皂, 员猿缘 皂, 员源缘 皂, 园缘缘 皂, 园源缘 皂, 园猿缘 皂。

(缘)从 悦列中挑出与 月列对应的数为 园缘 园怨 园缘 园苑 园源 园园 园缘 园苑 园源 园源

(远)路面宽度为 员园 皂,计算出 远 个乘积分别为 愿缘 园缘 皂, 园缘 园苑 皂, 源缘 园缘 皂, 缘缘 园苑 皂, 源缘 园园 皂, 员猿缘 园缘 皂,分别再减去宽度的一半即得测点的位置。

其计算结果列于表 员源 猿

表 员源 猿 摇路压实度、结构层厚度等随机选点计算

测点编号	粤列	月列	距测点 距离 辕	桩摇号	悦列	距边缘 距离 辕	距中线 距离 辕
员	园缘	园猿 园缘	源缘	远缘 垣 园缘	园缘 园怨	愿缘 园怨	左 猿缘 园怨
圆	园远	园源 园缘	员猿缘	远缘 垣 员猿缘	园缘 园苑	园缘 园苑	左 园缘 园苑
猿	园源	园源 园缘	员源缘	远缘 垣 员源缘	园源 园园	源缘 园园	左 园源 园园
源	园园	园缘 园缘	园缘缘	远缘 垣 园缘缘	园缘 园苑	缘缘 园苑	右 园缘 园苑
缘	园猿	园缘 园源	园源缘	远缘 垣 园源缘	园源 园园	源缘 园园	左 园源 园园
远	园员	园源 园远	愿远	远缘 垣 愿远	园缘 园源	员猿缘 园源	左 猿缘 园远

## 员源 摇路路面几何尺寸检测

### 员源 摇路检测项目与要求

在公路路基路面施工过程中、交工验收期间及旧路调查时,都需要检测路基路面各部分的宽度、高程、横坡、边坡及中线偏位等几何尺寸,以保证各组成部分的尺寸符合规定的要求。几何尺寸检测所用的仪器与材料有:钢尺、经纬仪、全站仪、精密水准仪、塔尺、粉笔等。土方路基、水泥土基层及沥青混凝土面层各检测项目的要求见表 员源 源,其他结构层检测项目的要求参见《公路工程质量检验评定标准》( 猿 园 员 怨 )。

表 员源 源 摇路几何尺寸检测要求

结构 名称	检摇测 项摇目	规定值或允许偏差		检 测 频 率
		高速、一级公路	其他公路	
土 方 路 基	纵断高程 辕皂	垣 园, 原缘	垣 园, 原缘	每 园园 皂测 源点
	中线偏位 辕皂	缘	员缘	每 园园 皂测 源点, 弯道加 匀, 再 匀 两点
	宽度 辕皂	不小于设计值	不小于设计值	每 园园 皂测 源处
	横坡 辕	依园缘	依园缘	每 园园 皂测 源个断面
	边坡	不陡于设计值	不陡于设计值	每 园园 皂测 源处

摇续表

结构名称	检摇测项摇目	规定值或允许偏差		检测频率
		高速、一级公路	其他公路	
水泥土基层	纵断高程 轴皂 宽度 轴皂 横坡 轴		缘,原缘 不小于设计值 依园缘	每 园园皂测 源处 每 园园皂测 源处 每 园园皂测 源个断面
沥青混凝土面层	纵断高程 轴皂 中线偏位 轴皂 宽度 轴皂 横坡 轴	依园 摇园园 依园园 依园园	依缘 摇园园 依园 依园缘	每 园园皂测 源处 每 园园皂测 源点,弯道加 匀再 园两点 每 园园皂测 源处 每 园园皂测 源个断面

员园园摇准备工作

员在路基或路面上准确恢复桩号。

圆按随机取样的方法,一个检测路段内选取测定的断面位置及里程桩号,在测定断面上记号。通常将路面宽度、横坡、高程及中线偏位选在同一断面位置,且宜在整数桩号上。

猿根据道路设计的要求,确定路基路面各部分的设计宽度的边界位置,在测定位置上用粉笔做上记号。

源根据道路设计的要求,确定设计高程的纵断面位置,在测定位置上用粉笔做上记号。

缘根据道路设计的要求,在与中线垂直的横断面上确定成型后的路面的实际中线位置。

远根据道路设计的路拱形状,确定曲线与直线部分的交界位置及路面与路肩(或硬路肩)的交界处,作为横坡检验的标准;当有路缘石或中央分隔带时,以两侧路缘石边缘为横坡测定的基准点,用粉笔做上记号。

员园园摇纵断面高程测定

员将水准仪架设在路上平顺处整平,以路线附近的水准点高程为基准,依次将塔尺竖立在中线的测定位置上,测记测定点的高程读数,以皂计,准确至园园园皂。

圆连续测定全部测点,并与水准点闭合。

各测点的实测高程 澡,与设计高程 澡之差为

$$\Delta 澡 = 澡 - 澡原$$

(员园园园)

员园园摇路面横坡测定

员对设有中央分隔带的路面,测定横坡时,将水准仪架设在路面平顺处整平,将塔尺分别竖立在路面与中央分隔带分界的路缘带边缘 处以及路面与路肩交界(或外侧路缘石边缘)的标记 处, 处和 处测点必须在同一横断面上。测量 处与 处的高程,记录高程读数,以皂计,准确至园园园皂。

圆对无中央分隔带的路面,测定横坡时,将水准仪架设在路面平顺处整平,将塔尺分别竖立

立在路拱曲线与直线部分的交界位置处以及路面与路肩交界位置处,测点和测点必须在同一横断面上。测量测点与测点处的高程,记录高程读数,以毫米计,准确至 0.1mm。

用钢尺测量两测点的水平距离,以毫米计。对于高速公路及一级公路,准确至 0.1mm;对于其他等级公路,准确至 0.5mm。

各测点断面的横坡度按式(4.1.1)计算,准确至一位小数。按式(4.1.2)计算实测横坡度与设计横坡度之差  $\Delta i$ 。

$$i = \frac{H_1 - H_2}{L} \quad (4.1.1)$$

$$\Delta i = i - i_0 \quad (4.1.2)$$

式中:  $H_1$ 、 $H_2$  分别表示各测定断面两测点测点的高程读数。

#### 4.1.3 公路路基路面宽度及中线偏差测定

用钢尺沿中心线垂直方向水平量取路基路面各部分的宽度,以毫米计。对于高速公路及一级公路,准确至 0.1mm;对于其他公路,准确至 0.5mm。

测量时量尺应保持水平,不得将尺紧贴路面量取,也不得使用皮尺。各测定断面的实测宽度  $B$  与设计宽度  $B_0$  之差  $\Delta B$  为

$$\Delta B = B - B_0 \quad (4.1.3)$$

实际路基、路面中心线与设计中心线的距离为中心偏差,用  $\Delta$  表示,以毫米计。对高速公路、一级公路,准确至 0.1mm;对于其他等级公路,准确至 0.5mm。其测量方法同宽度测量。

#### 4.1.4 公路检测路段数据整理

将路基路面几何尺寸检测结果汇总于表 4.1.1,然后根据相关规范的规定计算一个评定路段内测定值的平均值、标准差、变异系数,按照数理统计原理计算一个评定路段测定值的代表值。

表 4.1.1 公路路基路面几何尺寸检测记录

工程名称 \_\_\_\_\_ 路段桩号 \_\_\_\_\_ 结构名称 \_\_\_\_\_  
 检测者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 校核者 \_\_\_\_\_ 检测日期 \_\_\_\_\_

序号	测点桩号	纵断高程 (mm)			横坡 (%)			宽度 (mm)			路面厚度 (mm)			路基边坡			中线偏位 (mm)	
		实测值	设计值	差值 (mm)	实测值	设计值	差值	实测值	设计值	差值 (mm)	实测值	设计值	差值 (mm)	实测值	设计值	差值		

注:不符合规范的测点应作标记。

计算代表值所使用的保证率 根据相关规范的规定采用。代表值  $\bar{x}_n$  计算公式如下：

$$\begin{aligned} \text{单侧检验的指标} & \quad \bar{x}_n - t_{\alpha} \frac{s}{\sqrt{n}} & \quad (n \geq 30) \\ \text{双侧检验的指标} & \quad \bar{x}_n - t_{\alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}} & \quad (n \geq 30) \end{aligned}$$

式中  $\bar{x}_n$ ——一个评定路段内测定值的平均值；

$s$ ——标准差；

$t_{\alpha}$  或  $t_{\alpha/2}$ —— $t$  分布中随测点数和保证率(或置信度  $\alpha$ )而变化的系数。

单边置信水平,保证率为 95% 时的  $t_{\alpha}$  值见第 4 章的表 4.0.1; 双边置信水平,保证率为 95% 的  $t_{\alpha/2}$  值与单边水平、保证率为 95% 时的  $t_{\alpha}$  相同,保证率为 90% 的  $t_{\alpha/2}$  值参见相关规程。

当无特殊规定时,可疑数据的舍弃宜按照 3 倍标准差作为舍弃标准,即在资料分析中,舍弃那些在  $\bar{x}_n \pm 3s$  范围以外的测定值,然后再重新计算整理。当试验数据  $x_i$  为 3 倍标准差时, $x_i$  值分别为  $\bar{x}_n + 3s$ 、 $\bar{x}_n - 3s$  等于或大于  $\bar{x}_n$  时, $x_i$  值亦采用  $\bar{x}_n$

## 路面厚度检测

### 路面厚度代表值与极值的允许偏差

路面各结构层厚度的检测方法与结构层的层位和种类有关,基层和砂石路面的厚度可用挖坑法测定,沥青面层及水泥混凝土路面板的厚度应用钻孔法测定。几种常用的路面结构层厚度的代表值与极值的允许偏差见表 4.0.1。

表 4.0.1 几种常用的路面结构层厚度代表值与极值的允许偏差

类型与层次	厚度偏差			
	代表值		极值	
	高速、一级	其他公路	高速、一级	其他公路
水泥混凝土面层	原值	原值	原值	原值
沥青混凝土、 沥青碎石面层	总厚度,原值 上面层,原值	总厚度 $\leq 100$ mm,原值 厚度 $> 100$ mm 时,原值 原值 $\pm 5$ mm 或原值	总厚度,原值; 上面层,原值	总厚度 $\leq 100$ mm 时,原值 厚度 $> 100$ mm 时,原值 原值 $\pm 5$ mm 或原值
沥青贯入式面层		原值 $\pm 5$ mm 或原值		原值 $\pm 5$ mm 或原值
水泥稳定粒料基层	原值	原值	原值	原值
石灰土底基层	原值	原值	原值	原值

注:水泥混凝土面层,每 1000m<sup>2</sup>每车道检查 1 处。

沥青混凝土、沥青碎石及沥青贯入式面层,每 1000m<sup>2</sup>每车道检查 1 处。

水泥稳定粒料基层及石灰稳定土底基层,每 1000m<sup>2</sup>每车道检查 1 处。

### 挖坑法测定路面厚度

按随机选点法决定挖坑检查的位置。如为旧路,测点有坑洞等显著缺陷或处于接缝处时,可在其旁边检测。

圆选一块约  $10\text{cm} \times 10\text{cm}$  的平坦表面作为试验地点,用毛刷将其清扫干净。

缘根据材料坚硬程度,选择镐、铲、凿子等适当的工具开挖这一层材料,直至层位底面。

在便于开挖的前提下,开挖面积应尽量缩小,坑洞大体呈圆形,边开挖边将材料铲出,置于搪瓷盘内。

源用毛刷将坑底清扫,确认为下一层的顶面。

缘将一把钢板尺平放横跨于坑的两边,用另一把钢尺或卡尺等量具在坑的中部位置垂直伸至坑底,测量坑底至钢板尺底面的距离,即为检查层的厚度,以  $1\text{mm}$  计,精确至  $0.1\text{mm}$ 。

远用取样层的相同材料填补试坑。对有机结合料稳定类结构层,应按相同配比用新拌的材料分层填补,并用小锤夯实整平;对无机结构结合粒料结构层,可用挖坑时取出的材料,适当加水拌和后分层填补,并用小锤夯实整平。

### 员.2.2 摇钻孔取样法测定路面厚度

员)同于挖坑法要求的第(员)项。

圆)按第 4 章第 4.2 节钻取芯样的方法用路面取芯机钻孔。钻头的标准直径为  $\phi 50\text{mm}$ 。如芯样仅供测定厚度而不作其他试验时,对沥青面层与混凝土板也可用  $\phi 50\text{mm}$  的钻头。对基层材料有可能损坏试件时,也可用直径  $\phi 40\text{mm}$  的钻头,钻孔深度必须达到层厚。

猿)仔细取出样芯,清除表面灰土,找出与下层的分界。

源)用钢板尺或卡尺沿圆周对称的十字方向四处量取表面至上下层界层的高度,取其平均值,即为该层的厚度,准确至  $0.1\text{mm}$ 。

缘)在施工过程中,当沥青混凝土尚未冷却时,可根据需要随机选择测点,用大改锥插入量取或挖坑量取沥青层的厚度,但不得使用铁镐等扰动四周的沥青层。

远)用取样层的相同材料填补钻孔。对正在施工的沥青路面,用相同级配的热拌沥青混合料分层填补,并用热的铁锤或热夯夯实整平;旧路钻孔也可用乳化沥青混合料修补;对水泥混凝土面板,应按相同配比用新拌的材料分层填补并用小锤夯实,新材料中宜掺加快凝早强的外掺剂。

### 员.2.3 地质雷达检测路面面层厚度

用钻孔取芯法检测路面面层厚度时,对面层有一定的破坏作用。随着科学技术的发展,西方发达国家自 20 世纪 80 年代开始研究用地质雷达检测路面面层厚度技术,并取得了成功。南京振隆科技实业公司在国内率先引进了一套公路专用地质雷达检测设备,并自行开发专用软件,形成了一套完整的公路面层厚度检测技术。该项检测技术是一种先进的、高效的、不损坏路面的、连续的检测路面面层厚度的方法。

地质雷达检测公路路面面层厚度属于反射探测法。其基本原理是,不同的介质具

有不同的介电常数,地质雷达向地下发射一定强度的高频电磁脉冲波,电磁波在地下传播的过程遇到不同介电常数的界面时,一部分能量产生反射波,一部分能量继续向地下传播,如

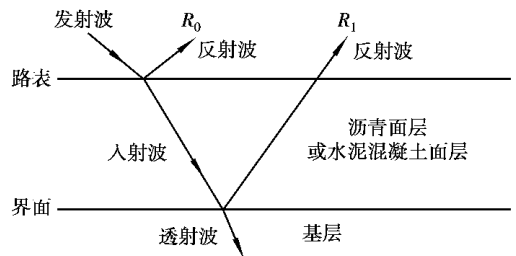


图 员.2.3 地质雷达电磁波在路面面层中的反射

图 员源所示 地质雷达接收并记录这些反射信息。电磁波在特定介质中的传播速度是不变的 根据地质雷达记录的路面表面反射波 与面层基层界面反射波 的时间差  $\Delta t$  由式(员源)计算面层的厚度  $D$  :

$$D = \frac{v \cdot \Delta t}{2} \quad (员源)$$

式中  $v$ ——电磁波在面层中的传播速度 ;

$\Delta t$ ——从路表至基层界面的电磁波双程传播时间。

相对于雷达所用的高频电磁波(圆~ 圆)而言 路面面层所用的材料都是低损耗介质 电磁波在面层中的传播速度为

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon}} \quad (员源)$$

式中  $c$ ——电磁波在大气中的传播速度 约 猿伊<sup>8</sup> 皂/泽 ;

$\epsilon$ ——面层的相对有效介电常数 它取决于构成面层的所有物质的介电常数。

利用钻孔取芯标定雷达波的速度是一种较为准确、实用的确定雷达波传播速度的方法。即在地质雷达所测剖面上的某一点 钻孔取芯量其实际厚度 用剖面上该点的双程走时和实际厚度反算雷达波在面层内的传播速度。

地质雷达检测公路路面厚度已全部实现了计算机化 效率和可靠性均高 并已达到实用阶段。

### 员源 路面结构层厚度评定

对路段内路面结构层厚度按代表值的允许偏差和单个测定值的允许偏差进行评定。厚度代表值为厚度的算术平均值的下置信界限值 即

$$D_{代表} = \bar{D} - k \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (员源)$$

式中  $D_{代表}$ ——厚度代表值 ;

$\bar{D}$ ——厚度平均值 ;

$s$ ——标准差 ;

$n$ ——检查数量 ;

$k$ ——分布中随测点数和保证率(或置信度  $\alpha$ )而变的系数 可查表 员源 采用的保证率 ;高速公路、一级公路基层、底基层为 怨, 面层为 怨;其他公路基层、底基层为 怨, 面层为 怨。

当厚度代表值大于等于设计厚度减去代表值允许偏差时 则按单个检查值的偏差是否超过极限值来评定合格率 ;当厚度代表值小于设计厚度减去代表值允许偏差时 则厚度指标评为零分 即不合格。

沥青面层一般按沥青铺筑层总厚度进行评定 但高速公路和一级公路多分为圆~猿层铺筑 应进行上面层厚度的检查与评定。

## 练 习 题

员 公路路基路面现场测试随机选点方法是一种什么原理?什么是场地 它包括哪些断面?确定测点位置的方法是怎样的?

员 摇 确定测点断面或测定区间的步骤是什么？

员 摇 道路基层和底基层分为几类？

员 摇 路基路面几何尺寸检测的目的是什么？检测项目有哪些？

员 摇 路面横坡测定常采用什么仪器？怎么测试？其横坡值怎样计算？

员 摇 路面厚度检测有几种方法？

员 摇 当高速公路和一级公路的路面采用水泥混凝土面层，或沥青混凝土面层时，路面结构层厚度代表值与极值的允许偏差值应各为多少？

员 摇 简述地质雷达测试路面面层厚度的基本原理和测试方法。

员 摇 某高速公路二灰稳定砂砾基层设计厚度为  $150\text{mm}$ ，代表值允许偏差为  $-10\text{mm}$ ，极值允许偏差为  $-20\text{mm}$ 。评定路段厚度检测结果（10 个测点）分别为  $145, 148, 152, 155, 158, 160, 162, 165, 168, 170\text{mm}$ ，试按保证率 95% 计算该路段厚度实际得分？

员 摇 某一级公路水泥稳定砂砾基层压实厚度检测值分别为  $145, 148, 152, 155, 158, 160, 162, 165, 168, 170\text{mm}$ ，请按保证率 95% 计算其厚度的代表值，并进行评定。