

山西黄土 CBR 与 E_0 的相互关系式的修订

吴喜荣, 朱丽丽, 肖 亢, 张 军, 马 林

(山西省交通科学研究院 黄土地区公路建设与养护技术交通行业重点实验室 山西 太原 030006)

摘要: 在山西省选取 4 条高速公路, 每条公路上选取一段黄土路基试验段, 开展现场回弹模量 E_0 和承载比 CBR 试验, 对回弹模量和 CBR 之间的相互关系进行了研究, 对已有的相互关系式提出修正和补充, 提出山西晋北和晋南黄土路基回弹模量和承载比 CBR 之间的换算关系, 为山西黄土地区路面结构的设计提供参考依据。

关键词: 路基土; 回弹模量; CBR; 相互关系

中图分类号: U416.1 文献标志码: A 文章编号: 2095-0373(2014)04-0047-04

路基是路面结构的支承体, 土基回弹模量是反映路基承载能力的主要力学参数。黄土地区路基路面发生了较为严重的病害, 病害的原因很多, 除了与黄土的特殊性质有关以外, 还与施工控制不当、填土压实不足、排水不畅、地基处理不合理、材料不合格以及设计不合理有关, 回弹模量的取值直接影响到路面的设计, 回弹模量的取值与实际值相差很多, 这主要是因为测试回弹模量的方法多, 而且, 从大量试验结果及工程经验可看出 E_0 值的测定受人、为因素、土质、气候、地理条件、测试方法等因素的影响很大。

CBR 也是一种评定基层材料承载能力的试验方法, 也用于评定土基的强度。在国外多采用 CBR 作为路面材料和路基土的设计参数。由于 CBR 的试验方法较简单, 设备造价低廉, 在许多国家得到广泛应用。采用 CBR 法确定沥青路面厚度, 有配套的图表, 应用十分方便, 受到工程技术人员的欢迎^[1-5]。

因此有必要对 CBR 和回弹模量之间进行区别和联系, 为黄土地区路面结构的设计提供可靠的依据。国内外对于回弹模量和 CBR 之间的关系式研究了很多, 但是对于黄土的研究较少。为了建立黄土地区回弹模量和 CBR 之间的关系, 对山西省黄土路基试验段进行了大量的试验, 通过实测数据分析土基回弹模量与 CBR 的相关关系, 以探求土基回弹模量的合理取值, 使得路面设计更能符合实际情况, 以适应未来公路交通的发展。

1 路基土质概况

选取山平、广源等 4 条高速公路的 4 段典型试验路段的黄土, 按照《公路土工试验规程》^[6] 的试验步骤和方法进行土样的物理指标试验。试验结果如表 1。

表 1 路基黄土物理性质指标表

测试地点	比重	液限	塑限	最佳含水量/%	最大干密度/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
山平高速	2.70	30.3	20.8	12	1.884
河运高速	2.63	32.3	20.9	12	1.952
广源高速	2.65	30.1	20.8	12	1.942
临吉高速	2.70	26.3	19.8	10	2.006

2 现场试验方法

2.1 承载比 CBR 试验

DOI: 10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2014.04.09

收稿日期: 2013-07-09

作者简介: 吴喜荣 女 1980 年出生 工程师

项目基金: 交通部基础应用项目(2011-319-771-080)

将 4 条高速公路的 4 段试验路段的压实度基本控制在 96% 左右,在试验路段上选点测试,用贯入试验得到的等级荷重除以贯入段面积(19.625 cm²),得到各级压强,绘制荷载压强-贯入量曲线^[7]。如曲线起点处出现反弯点,应对其进行修正,在压强-贯入量曲线上一般采用贯入量为 2.5 mm 时的测定值为准,当贯入量为 5.0 mm 时的 CBR 大于 2.5 mm 时的 CBR 时,应重新试验,如重新试验还是如此,则以贯入量 5.0 mm 时的 CBR 为准,即

$$CBR = \frac{P_1}{P_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中, P_1 为荷载压强; P_0 为标准压强,当贯入量为 2.5 mm 时为 7 MPa,当贯入量为 5 mm 时为 10.5 MPa。

山平、广源、河运、临吉 4 条高速公路试验路段现场 CBR 的测试结果如表 2,间距 20 m,其均值分别为 18.727、29.748、53.576 和 58.147。

表 2 现场 CBR 测试数据

山平	广源	河运	临吉
15.651	39.308	56.294	55.323
11.647	38.338	60.419	65.514
10.677	29.845	53.867	80.073
16.015	31.544	65.029	54.596
13.831	18.926	53.139	59.448
7.910	20.140	54.595	56.294
36.397	27.662	52.411	43.676
30.573	32.029	53.382	52.411
25.842	25.478	40.764	59.691
—	34.213	45.860	61.147
—	—	—	51.441

2.2 路基回弹模量 E_0 的测定

在测试 CBR 点附近进行路基回弹模量的测定。现场回弹模量 E_0 的测定适用于在现场土基表面,通过用承载板对土基逐级加载、卸载的方法,荷载小于 0.1 MPa 时,每级增加 0.02 MPa,以后每级增加 0.04 MPa 左右,当回弹变形值超过 1 mm 时,停止加载,然后根据式(2)计算回弹模量,测得的回弹模量可用于路面设计参数。回弹模量试验是研究土质路基强度特性常用的方法之一,根据试验结果,绘出土质路基顶面压应力与回弹变形的关系曲线,曲线的起始阶段有反弯需进行修正。回弹模量的计算公式如下

$$E_0 = \frac{\pi D}{4} \frac{\sum P_i}{\sum L_i} (1 - \mu_0^2) \quad (2)$$

式中, E_0 为土基回弹模量; μ_0 为土的泊松比,土基一般取 0.35; L_i 为实测回弹变形值; P_i 为对应于 L_i 的各级压力值。

山平、广源、河运和临吉高速现场回弹模量测试结果如表 3,间距 20 m,其均值分别为 29.936、36.093、52.180 和 70.640。

表 3 现场回弹模量测试数据

山平	广源	河运	临吉
26.770	37.113	66.445	77.943
23.185	37.480	64.793	87.713
15.966	53.664	70.673	122.847
19.338	29.437	57.244	43.091
17.684	27.474	45.918	61.586
21.694	41.976	44.354	62.175
44.990	31.159	60.043	46.817
49.678	38.889	47.502	68.238
50.116	28.259	31.078	52.978
—	35.480	33.753	108.824
—	—	—	44.824

3 回弹模量与 CBR 相互关系式的修订

对 4 条高速公路的现场试验结果进行分析和整理,剔除离散型大的测点数据,对现场回弹模量和 CBR 测试的有效数据进行拟合,得到如表 4 的相关关系式。

表 4 黄土路基回弹模量和 CBR 的相关性

试验路段	测点数量	拟合关系式	相关系数
山平高速	9	$E_0 = 0.699\ 6 CBR^{0.959\ 1}$	$R^2 = 0.726$
广源高速	10	$E_0 = 6.457\ 7 CBR^{0.477\ 6}$	$R^2 = 0.674$
河运高速	10	$E_0 = 0.066\ 6 CBR^{1.659\ 6}$	$R^2 = 0.708$
临吉高速	11	$E_0 = 0.070\ 9 CBR^{1.696\ 3}$	$R^2 = 0.758$

从表 2 的现场测试结果看出,4 条试验路段的现场测试回弹模量值在地理位置上呈现出由北向南逐渐增大的趋势,因此,晋南和晋北的回弹模量会有较大的差异。

许多研究人员对山西黄土的回弹模量和 CBR 的相关关系做了大量的研究,其中,山西省交通厅科研计划项目《山西省湿陷黄土路基设计施工关键技术研究》研究报告中对山西黄土建立了如下的相关关系式

$$E_0 = 44.04(CBR)^{0.77} - 4.15 \quad (3)$$

式中, CBR 为标准试验条件下的测定值。现将 4 个场地的现场回弹模量 E_0 与 CBR 测试值带入该公式进行拟合,拟合结果如图 1。

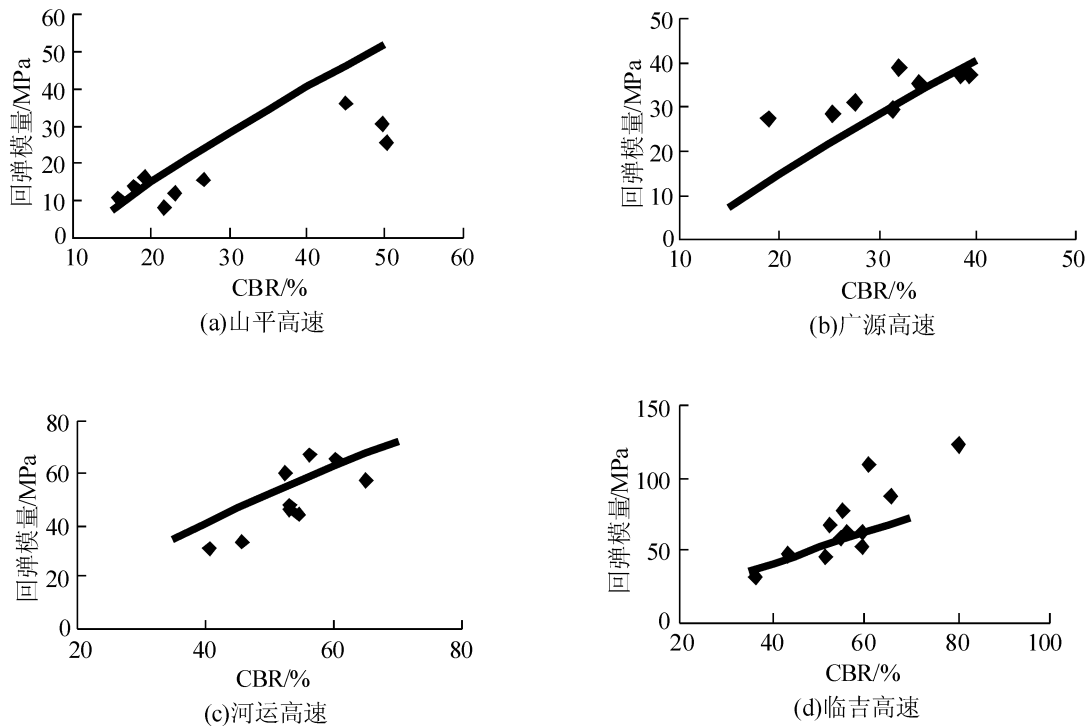


图 1 典型场地回弹模量与 CBR 拟合曲线

从图 1 中可以看出,用公式(3)拟合山西典型场地土体回弹模量与 CBR 曲线时,部分拟合较好,但总体上拟合效果较差,分析原因主要是由于晋南和晋北土样回弹模量在地域上有所差异,并且 CBR 的试验条件也不同,将公式(3)予以修正,将山西场地分析晋南和晋北两大区域,分别研究其回弹模量与 CBR 的相关关系,分析结果如图 2、图 3 所示。从图 2、图 3 中可以看出,将山西土体分为晋南和晋北后拟合效果较好,其中晋北地区的土体其回弹模量与 CBR 的关系符合幂指数关系,表达式为

$$E_0 = A_1(CBR)^{B_1} + C_1 \quad (4)$$

式中, $A_1 = 5.04$; $B_1 = 0.6$; $C_1 = -5.15$ 。

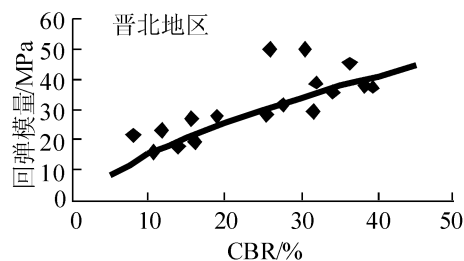


图 2 晋北回弹模量与 CBR 的关系曲线

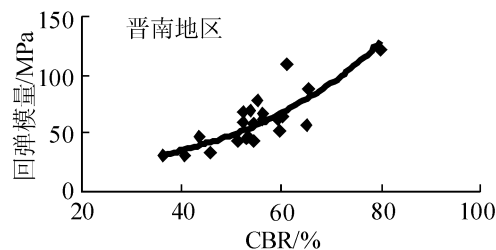


图 3 晋南回弹模量与 CBR 的关系曲线

晋南地区的土体回弹模量与 CBR 的关系符合指数关系,表达式为

$$E_0 = A_2 e^{B_2 \cdot CBR} \quad (5)$$

式中, $A_2 = 9.7367$; $B_2 = 0.0323$ 。其中, CBR 和 E_0 是现场测试数据。

4 结语

(1) 公式(4)和公式(5)是根据 4 条试验路段上的测试数据拟合得到的,测试结果具有一定的参考价值,但仍具有一定的局限性,希望通过更加深入的研究来补充和完善该公式。

(2) 根据山西省土质类型分布规律,山西黄土路基的回弹模量在地理位置上呈现出由北向南逐渐增大的趋势,提出了适合山西黄土晋北和晋南的回弹模量和 CBR 的相关关系式,为确定黄土路基的回弹模量值提供一定的应用依据。

参 考 文 献

- [1] 南浩林. 土基回弹模量三种测试方法的相关性分析[J]. 山西交通科技, 2006(5): 9-11.
- [2] 邓学钧. 路基路面工程[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
- [3] 贺国佑, 刘锋民. 新疆地区路基回弹模量 E_0 研究[J]. 中外公路, 2008, 28(2): 58-61.
- [4] 吴喜荣, 申俊敏. 山西黄土 CBR 的影响分析[J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2013(1): 71-75.
- [5] 庞巍, 杨广庆, 吕鹏. 影响公路路基填料 CBR 试验值的因素分析[J]. 石家庄铁道学院学报: 自然科学版, 2006, 19(4): 26-29.
- [6] 交通部公路科学研究院. JTG E40—2007 公路土工试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [7] 交通部公路科学研究院. JTG 059—95 公路路基路面现场测试规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 1995.

Revision of Mutual Relation Between Resilient Modulus and CBR in Loess Region of Shanxi Province

Wu Xirong, Zhu Lili, Xiao Kang, Zhang Jun, Ma Lin

(Key Laboratory of Highway Construction & Maintenance Technique in Loess Region, Shanxi Provincial Research Institute of Communications, Taiyuan 030006, China)

Abstract: The loess test road of four highways in Shanxi Province are selected for the study. Through the contrast and analysis of the data of resilient modulus and CBR on field, this paper presents the conversion relationship between resilient modulus and CBR for north and south Shanxi Province. The conversion relationships provide a reliable basis for the design of pavement construction.

Key words: subgrade soil; resilient modulus; CBR; correlation

(责任编辑 刘宪福)