

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2022.04.017

动力锥贯入仪用于路基压实质量检测的适用性分析

黄虎刚

(上海同纳建设工程质量检测有限公司 湖南分公司, 湖南 长沙 410116)

摘要: 介绍动力锥贯入仪(DCP)及其检测步骤,结合现场检测数据和加州承载比(CBR)试验值,对 DCP 法测得的贯入度和 CBR 值的相关性进行分析,验证规范中贯入度和 CBR 值的线性关系;最后阐述 DCP 在路基工程中的主要应用范围。

关键词: 公路;路基;压实质量;动力锥贯入仪(DCP)

中图分类号:U416.1

文献标志码:A

文章编号:1671-2668(2022)04-0068-04

路基的承载能力关系到道路的服役寿命。在引入动力锥贯入仪(Dynamic Cone Penetrometer, DCP)之前,路基承载能力一般通过加州承载比(CBR)试验、无侧限压缩试验、三轴压缩试验、静载试验等测试,这些方法不能直接获得路基承载力,且需耗费大量时间和人力。为此,将 DCP 法应用于路基承载力检测。该文结合现场检测数据和 CBR 试验值,对 DCP 方法检测的贯入度与 CBR 值之间的相关性进行分析,验证规范中贯入度与 CBR 值的线性关系。

1 DCP 法概述

DCP 是利用锤击方式将测头贯入土基测试土基承载能力的一种轻型设备(见图 1),通常以锤击深度表示,落锤重 10 kg,锥头角度为 60°。其操作简便,可靠性高,能迅速得到路基承载能力,常用于路基和土基材料压实质量检测。该设备所测贯入度与现场 CBR 值和杨氏回弹模量均具有较高的相关

性,可用于评价施工现场或老路路基的压实质量或承载能力。

国内学者对 DCP 法进行了相关研究和现场测试。徐平等通过分析 DCP(总)锤击数、贯入比率与 DCP 贯入深度之间的关系,发现 DCP 可用于路基压实质量定性分析,并采用落锤式弯沉仪(FWD)和 CBR 试验方法对不同类型路基的压实质量进行测试,结果表明 CBR 值与 FWD 值的相关性较好,间接说明 DCP 法能用于路基压实质量快速检测及评价。郭涛等分析了高速公路扩建中新老路基拼接问题,结合大量 DCP 现场测试结果,分析了 DCP 在新旧路基拼接工程中的实际应用,结果表明 DCP 在评价拼接路基新旧部位压实质量中具有较好的应用价值。赵玮等对 DCP 工作原理及应用现状进行阐述,结合新建、改扩建及特殊路基的应用实践分析其在路基压实质量控制中的适用性,发现采用 DCP 对路基压实质量进行检测具有较高的可靠性,值得进一步推广。李宝通过对路基进行现场钻芯取样、室内试验及 DCP 试验,对 DCP 平均贯入值、路基回弹模量、压实度、含水量及路面结构现状的相关性进行分析,得出 DCP 试验可对路基承载能力进行快速测试和评价,且测试结果的可靠性极高。

2 DCP 法现场测试

2.1 试验准备

(1) 安装落锤,保证联轴器处的 DCP 导向杆与探杆连接牢固,避免发生松动、脱落。

(2) 将 DCP 竖直放置在坚硬表面上,如混凝土或坚硬土层,记录最初读数,记作零读数。

(3) 根据工程实际情况选择具有代表性的检测

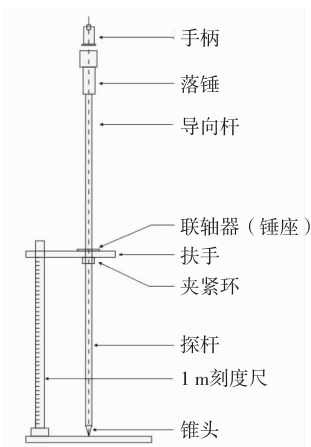


图 1 动力锥贯入仪的构造

点,检测点应处于表面平整的路基或路面面层及基层上。

2.2 试验步骤

(1) 在施工现场选择平整且干燥的表面作为测试地点,若表面有浮土或软土,应予以铲除,厚度一般不超过 20 mm。若表层有较深的浮土,应重新选择测试地点周围区域进行试验。

(2) 将 DCP 锥头连接到已安装好的动力锥贯入仪钻杆上,将其对准待检测路基的表面并保持探杆垂直。一人握住 DCP 手柄,另一人将重锤提升至导杆顶部使重锤自由落下。

(3) 读取贯入深度。落锤自由下落后,单次贯入深度大于 5 mm 时,记录锤击次数和贯入深度;若单次贯入深度在 5 mm 以内,应多次锤击,使贯入深度超过 5 mm 后记录贯入深度及累计锤击次数。

(4) 进行下道工序施工前连续进行锤击、测量、记录,直至达到各结构层的要求深度。遇到坚硬材

料层时,连续锤击 10 次后,若其贯入量没有任何改变,则终止试验,重新选择测点进行测试,或使钻孔钻透坚硬结构层后再进行测试。

(5) 测试结束,从中部连接处拆卸贯入杆,拆除落锤,取出 DCP 设备。

3 数据分析

根据文献[5],以贯入深度—锤击次数曲线作为 DCP 法检测结果。按式(1)计算 DCP 的贯入度 D_d ,按式(2)计算现场 CBR 值。

$$D_d = D/n \quad (1)$$

$$\lg(\text{CBR}) = a + b \cdot \lg D_d \quad (2)$$

式中: D 为 DCP 的贯入量; n 为锤击次数; a 、 b 为换算系数。

选取厚度分别为 100 mm、150 mm 的路基土层进行 DCP 试验和现场 CBR 试验,测试结果见表 1。

对贯入度和 CBR 值采用二次多项式进行拟

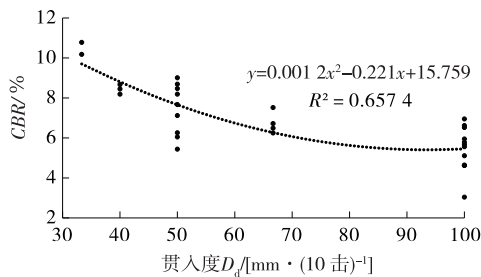
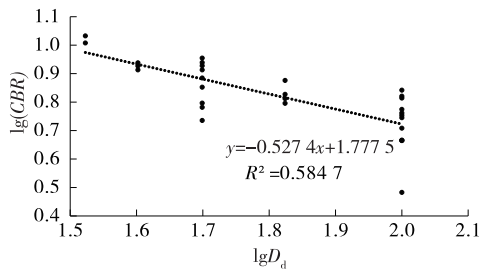
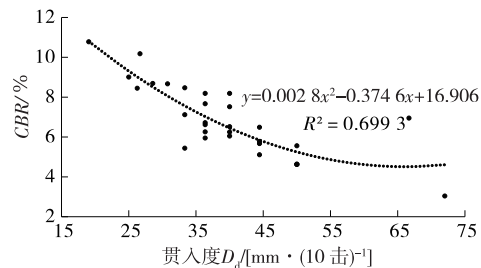
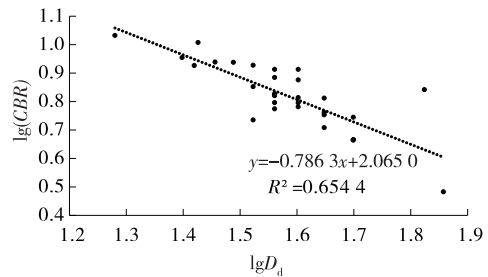
表 1 路基土层 DCP、CBR 试验结果

桩号	DCP 试验结果				CBR 试验结果	
	厚 100 mm 土层		厚 150 mm 土层		CBR/%	lg(CBR)
	贯入度 $D_d/[\text{mm} \cdot (10 \text{ 击})^{-1}]$	$\lg D_d$	贯入度 $D_d/[\text{mm} \cdot (10 \text{ 击})^{-1}]$	$\lg D_d$		
K15+100	100.00	2.000	44.44	1.648	5.11	0.708
K15+175	50.00	1.699	40.00	1.602	6.05	0.782
K15+200	100.00	2.000	40.00	1.602	6.52	0.814
K15+250	66.67	1.824	40.00	1.602	6.25	0.796
K15+300	50.00	1.699	28.57	1.456	8.69	0.939
K15+340	40.00	1.602	26.26	1.419	8.45	0.927
K15+400	66.67	1.824	36.36	1.561	6.72	0.827
K15+425	40.00	1.602	30.77	1.488	8.67	0.938
K15+450	50.00	1.699	33.33	1.523	8.47	0.928
K15+550	66.67	1.824	44.44	1.648	6.49	0.812
K15+600	50.00	1.699	36.36	1.561	7.67	0.885
K15+650	40.00	1.602	36.36	1.561	8.19	0.913
K15+700	66.67	1.824	40.00	1.602	7.52	0.876
K15+750	100.00	2.000	44.44	1.648	5.67	0.754
K15+800	100.00	2.000	44.44	1.648	5.78	0.762
K15+900	100.00	2.000	36.36	1.561	6.62	0.821
K15+950	50.00	1.699	33.33	1.523	7.12	0.852
K16+000	50.00	1.699	33.33	1.523	5.44	0.736
K16+550	100.00	2.000	36.36	1.561	5.95	0.775
K16+600	100.00	2.000	72.00	1.857	3.04	0.483
K16+650	50.00	1.699	40.00	1.602	8.19	0.913
K16+750	100.00	2.000	50.00	1.699	4.63	0.666
K16+800	33.33	1.523	19.05	1.280	10.78	1.033
K16+825	33.33	1.523	26.67	1.426	10.18	1.008

续表 1

桩号	DCP 试验结果				CBR 试验结果	
	厚 100 mm 土层		厚 150 mm 土层		CBR/%	lg(CBR)
	贯入度 $D_a/[\text{mm} \cdot (10 \text{ 击})^{-1}]$	$\lg D_a$	贯入度 $D_a/[\text{mm} \cdot (10 \text{ 击})^{-1}]$	$\lg D_a$		
K16+850	100.00	2.000	50.00	1.699	5.56	0.745
K16+900	100.00	2.000	50.00	1.699	4.62	0.665
K16+950	50.00	1.699	36.36	1.561	6.26	0.797
K17+000	50.00	1.699	25.00	1.398	9.01	0.955
K17+025	100.00	2.000	50.00	1.699	4.64	0.667
K17+050	100.00	2.000	66.67	1.824	6.95	0.842

合,对 $\lg D_a$ 与 $\lg(\text{CBR})$ 采用线性函数进行拟合,结果见图 2~5。

图 2 路基土层厚 100 mm 时 D_a -CBR 关系曲线图 3 路基土层厚 100 mm 时 $\lg(\text{CBR})$ - $\lg D_a$ 关系曲线图 4 路基土层厚 150 mm 时 D_a -CBR 关系曲线图 5 路基土层厚 150 mm 时 $\lg(\text{CBR})$ - $\lg D_a$ 关系曲线

由图 2 和图 3 可知:路基土层厚度为 100 mm 时,DCP 贯入度与 CBR 值间的关系可用二次多项式表示,其相关系数为 0.811,表明未经处理的数据具有较小的离散性,能进行更好的耦合; $\lg(\text{CBR})$ 随 $\lg D_a$ 的增大而减小, $\lg(\text{CBR})$ 与 $\lg D_a$ 呈负线性相关,两者的相关系数为 0.765,表明 DCP 贯入度和现场 CBR 值的相关性不高。

由图 4 和图 5 可知:路基土层厚度为 150 mm 时,采用二次多项式表示 DCP 贯入度与 CBR 值之间的相关性更合理,相关系数为 0.836,表明未经处理的数据具有较小的离散性,能进行更好的耦合; $\lg(\text{CBR})$ 与 $\lg D_a$ 呈负线性相关,相关系数为 0.809,大于土层厚度为 100 mm 时的相关系数,表明检测深度越大,DCP 贯入度与现场 CBR 值的相关性越强。

基于上述拟合分析结果,为验证规范中 DCP 贯入度与 CBR 值之间的线性关系,采用指数函数、二次多项式和幂函数进行拟合,结果见表 2。

表 2 路基土层的 DCP 贯入度与 CBR 值的拟合方程

土层厚度/mm	拟合方式	回归方程	R^2	R
100	线性函数	$y = -0.527 4x + 1.777 5$	0.584 7	0.765
	指数函数	$y = 2.676 5e^{-0.658 x}$	0.524 6	0.724
	二次多项式	$y = 0.462 7x^2 - 2.197 8x + 3.272 2$	0.591 5	0.769
	幂函数	$y = 1.693 4x^{-1.182}$	0.525 8	0.725

续表 2

土层厚度/mm	拟合方式	回归方程	R^2	R
150	线性函数	$y = -0.7863x + 2.0650$	0.6544	0.809
	指数函数	$y = 4.0278e^{-1.012x}$	0.6257	0.791
	二次多项式	$y = -0.05x^2 - 0.6285x + 1.9412$	0.6544	0.809
	幂函数	$y = 1.6599x^{-1.568}$	0.6134	0.783

由表 2 可知:路基土层厚度为 100 mm 时,二次多项式的拟合结果优于线性函数、指数函数和幂函数,相关系数达到 0.769。但路基土层厚度变大时,二次多项式和线性函数的相关系数相等,为 0.809,大于其他 2 种拟合方式。现场 DCP 试验一般检测厚度大于 100 mm,为便于后期数据处理,选用线性函数进行拟合较合理,与规范中 DCP 试验贯入度与 CBR 值采用线性方程拟合一致,验证了规范中检测方法的合理性。

4 DCP 法的工程应用

(1) 检查或评价路基、基层的压实质量。DCP 法是监控路基和基层正常施工的有效方法之一,可用于路基施工压实质量和均匀性检查,确定道路高强度的结构层及土质软弱之处。在对路基进行质量检测时,首先把 DCP 竖直平放在被检测层的表面,由测试人员操作探杆及锥头,直到锥头贯入待测材料层的底面或待测深度,最后对不同深度处的贯入率和 CBR 值进行分析,对该材料层的压实质量和分层状况进行评价。

(2) 调查旧路边坡的承载能力。随着交通流量的增加,部分地区会根据车流量需要对高速公路进行扩建加宽,需对旧路边坡的压实质量进行调查,根据调查结果制订切实可行的削坡方案,从而合理利用旧路边坡,节约工程成本。DCP 法是检测旧路边坡质量行之有效的方法。将 200 mm×200 mm 左右测试面积整平后进行 DCP 贯入试验,直至连续测量 5 次的贯入率均低于规范要求时停止试验。基于检测结果对旧路边坡承载能力进行分析,结合扩宽道路的施工要求确定合理的旧路削坡方案,避免因拼接质量、盲目设计等引起工程质量问题。

(3) 检测管道回填土质量及堤坝压实质量。在市政工程中进行管道回填时,往往因工期紧张、场地有限和常规检测方法的局限性,不能及时对管道土方回填密实度进行检测。DCP 法能及时对管道回填土的压实质量进行快速检测,且其操作简便、快

捷。DCP 法还可检测堤坝工程周边边坡土体的压实质量,实时监控堤坝施工过程中土体填筑质量。

(4) 对路基土体进行初始性调查。DCP 法的测试数据能反映土体分层状况、强度及承载能力特性。进行路基土体勘探时,可采用 DCP 法调查工程范围内土体的类别及性质。

5 结语

DCP 法以其操作简单、轻便快捷的特点被广泛应用于各种工程领域,如新建道路、管道、沟渠工程的回填土质量检测,堤坝工程的压实质量检测,旧路边坡的承载能力检测等,值得在土木工程领域推广应用。

参考文献:

- [1] 徐平,王复明,陈忠平.DCP 在高速公路路基压实质量评价中的应用[J].路基工程,2008(4):10—12.
- [2] 郭涛,何森.动力锥贯入仪 DCP 在路基拼接中的应用研究[J].公路交通科技(应用技术版),2009(2):114—117.
- [3] 赵玮,何森,刘军.动力锥贯入法在路基施工质量控制中的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2013(3):102—105.
- [4] 李宝.基于高速公路路基承载力检测的动力锥贯入法实证研究[C]//中国公路学会.中国公路学会高速公路运营管理分会 2011 年度年会暨全国第十八次高速公路管理工作研讨会论文集.北京:中国公路学会,2011.
- [5] 交通部公路科学研究院.公路路基路面现场测试规程:JTG 3450—2019[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2019.
- [6] 姜景山.动力锥贯入仪在路基检测中的应用综述[J].路基工程,2011(6):136—140.
- [7] 陶向华.长杆贯入仪检测路基压实度应用研究[J].公路交通科技(应用技术版),2011(增刊 1):43—46.
- [8] 陶向华,蔡迎春,郑元勋,等.DCP 和长杆贯入仪在粉砂土路基检测中的应用[J].郑州大学学报(工学版),2014,35(4):5—8.
- [9] 占样烈,赵翀.动力锥贯入仪 DCP 在砂类土路基检测中的应用研究[J].工程勘察,2021,49(6):34—37.